**土 木 研 究 所 資 料**
**第4143号　2009年6月**

# 鉄筋コンクリート構造物の施工性を考慮した構造細目の検討

構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ
上席研究員　中谷　昌一
主任研究員　白戸　真大
主任研究員　堺　　淳一
研　究　員　中村　英祐 *
交流研究員　中村　祐二 **
交流研究員　野村　朋之 ***

*　現国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部国際研究推進室
**　交流研究員在籍期間：平成 19 年 4 月～平成 21 年 3 月
***　交流研究員在籍期間：平成 18 年 4 月～平成 21 年 3 月

**要　旨**

近年の鉄筋コンクリート製の橋梁下部構造物は，耐震性能向上のために帯鉄筋や中間帯鉄筋等の鉄筋を多数配置する構造となっており，以前に比べて鉄筋が過密化し，施工が複雑になってきている。このような背景の中，施工性の向上に資する機械的な鉄筋の接合方法や定着方法の開発や，高強度材料の適用に対する要望が高まっている現状を踏まえると，耐震性能の向上にあわせて，道路橋示方書の構造細目に関しても，施工性に配慮するとともに，性能に対する信頼性が高く，施工性の良い継手や定着が適用できるように整備していくことが求められる。本研究では，現在の道路橋下部構造の施工実態を把握するため，施工に関するヒアリング調査を実施し，課題及び問題点の抽出を行った。そして，鉄筋の定着及び継手，高強度材料の適用，品質向上に資する構造細目として何を要求し，どのように対応すべきかという点に着目し，次期道路橋示方書の構造細目に関する改定案について検討した。

**キーワード:** 下部構造，構造細目，過密配筋，鉄筋継手，高強度材料

# 目 次

**第 1 章　はじめに　1**

**第 2 章　鉄筋コンクリート構造物の施工に関するヒアリング調査概要　2**

2.1　鉄筋の組立て…… 2

2.2　鉄筋の継手方法…… 7

2.3　鉄筋への溶接について…… 9

2.4　新しい定着機構を有するせん断補強筋の適用…… 9

2.5　コンクリート工の施工…… 10

**第 3 章　鉄筋端部の定着方法に関する検討　17**

3.1　現行の道路橋示方書に示される鉄筋コンクリート部材の構造細目…… 17

3.2　鉄筋配置の実際…… 21

3.3　構造部位の性能と中間帯鉄筋，せん断補強筋に要求される性能…… 21

3.4　定着部のフック形状の違いによる性能の差別化…… 22

3.5　定着体付き鉄筋の適用性の検討…… 32

3.6　中間補強筋およびせん断補強筋の端部定着方法に関する提案…… 41

**第 4 章　鉄筋の継手方法の適用及び管理に関する検討　44**

4.1　鉄筋の継手に求められる性能…… 44

4.2　道路橋下部構造の施工における継手方法の適用の実際…… 51

4.3　道路橋下部構造の鉄筋継手に関する規定の検討…… 57

**第 5 章　SD490 までの高強度鉄筋の適用に関する検討　68**

5.1　SD490 までの高強度鉄筋の適用について …… 68

5.2　常時およびレベル 1 地震時の設計に用いる許容応力度の検討…… 71

5.3　高強度鉄筋 SD490 の適用に関する部材実験…… 78

5.4　設計基準強度 30 N/mm$^2$ のコンクリートの施工性確認 …… 91

**第 6 章　施工性及び品質向上に資する構造細目の提案　102**

6.1　場所打ち杭の品質向上に資する構造細目…… 102

6.2　既成杭における杭とフーチングの結合部の構造細目に関する提案…… 105

6.3　鉄筋の過密配置の変更による施工性の向上のための提案…… 107

**第 7 章　まとめ** **108**

**参考文献** **110**

**資料 I　施工実態ヒアリング調査の結果** **115**

# 第1章　はじめに

近年の鉄筋コンクリート製の橋梁下部構造物は，耐震性能向上のために帯鉄筋や中間帯鉄筋等の鉄筋を多数配置する構造となっており，以前に比べて鉄筋が過密化し，施工が複雑化してきている。場合によっては，当初の設計図面どおりの配筋が困難であることを理由に設計変更や協議が行われているようである。一方で，道路橋示方書が，信頼性が高く，耐震性能の高い構造物を構築できるように，守るべき事項を規定し，改定を重ねてきたのに対して，施工に直結する構造細目に関しては，旧来の規定をそのまま現在においても適用し続けており，道路橋示方書の規定は，設計の思想と現場の実態が整合しなくなってきている部分がある。

例えば，鉄筋の太径化が進んでおり，太径鉄筋の継手が必須であるが，現行の道路橋示方書の規定では，鉄筋の継手は重ね継手を用いることを前提に記述されている。ここで，太径鉄筋の重ね継手は，継手長が大きくなる等により施工性が悪く，柱やはりの軸方向鉄筋等では，付着割裂の恐れが高まる等，現実的な方法ではない。そこで，このような部位においては，ガス圧接継手や機械式継手により継手を行うのが一般的となっているが，現行の道路橋示方書では，このような継手方法を用いる場合に明確な規定はない。また，施工性の向上に資する新たな施工方法や構造部材などの技術提案が示された時に，現行の道路橋示方書では，その性能や適用性を評価することができない。

そこで，道路橋の鉄筋コンクリート下部構造の構造細目に着目して，全国の直轄工事を対象にヒアリング調査を行い，上に示したような現在懸念されている事項や，その他施工において課題となっていることについて抽出することとした。そして，ヒアリング調査結果から，現状における基準と施工の間にある問題点を整理して，その対応案を検討することとした。

# 第2章　鉄筋コンクリート構造物の施工に関するヒアリング調査概要

構造細目の規定を見直すにあたり，現場の実態を把握し，問題点を抽出することが重要と考え，全国の直轄工事を対象にヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査は，平成19年度に，現行の道路橋示方書[1)]に準拠して設計された道路橋下部構造の施工現場の13箇所を対象に行われた。ヒアリング項目及び調査結果の概要を以下に示す。なお，ヒアリング調査の内容については**巻末資料**として添付する。

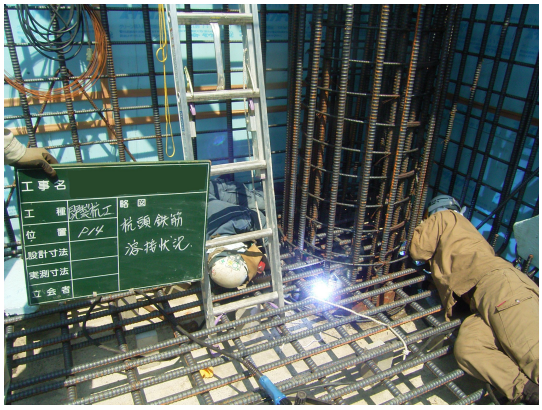
## 2.1　鉄筋の組立て

道路橋下部構造の耐震性能の高度化や構造物の大規模化により，中間帯鉄筋等の鉄筋量の増加や鉄筋の太径化が進んでいる。このような傾向に対して，鉄筋コンクリート下部構造の施工では，どのような部位に，どのような問題を抱えてるのか，どのような工夫がなされているか等についてヒアリングを行った。

### 2.1.1　杭とフーチングの結合部の配筋

杭とフーチングの結合方法は，杭頭部の補強鉄筋により杭頭曲げモーメントに抵抗する方法Bによる設計がほとんどである。このため，**写真**–2.1のように，ごく一般的なフーチングの鉄筋配置においてさえ，杭頭補強鉄筋とフーチング下側鉄筋が干渉し，配筋が困難となるとの意見がほとんどであった。

**写真**–2.1 杭頭補強鉄筋とフーチング鉄筋の干渉




**写真**–2.2 溶接による杭頭外周鉄筋の施工状況

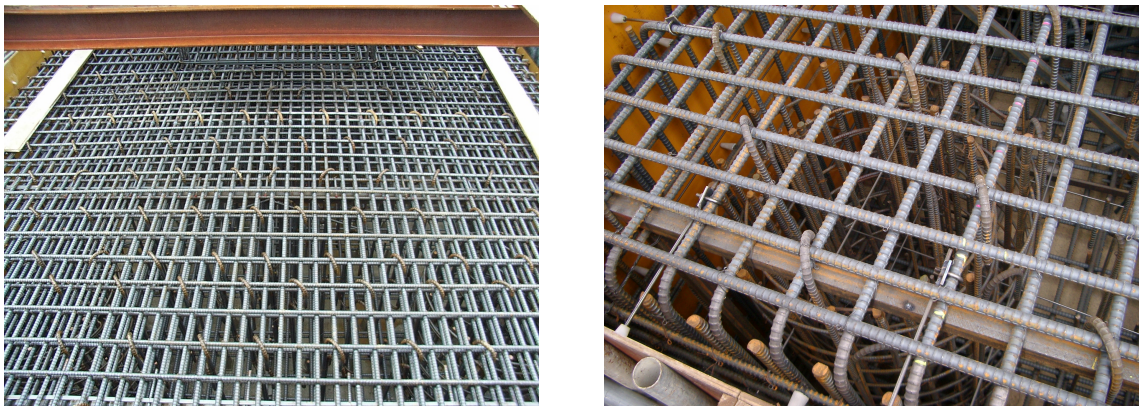
また，鋼管杭，鋼管ソイルセメント杭等では，杭体内の補強鉄筋だけでは結合強度が不足する場合，杭外周にも補強鉄筋が必要となるため，さらに密な配筋となり，フーチング鉄筋を設計通りの配筋ピッチで配置することが実質的に施工不可能なようである。また，外周鉄筋の溶接に関して，施工の難しさ，品質管理項目が明確でないことについての意見もあった (**写真**–2.2 参照)。

### 2.1.2　フーチングのスターラップ

フーチングのスターラップの鉄筋配置は，フーチング下面及び上面に配置される水平方向鉄筋を取り囲みフックをつけてコンクリートに定着するか，又は，水平方向鉄筋にフックをかけて定着することが道路橋示方書[1)]に規定されている。

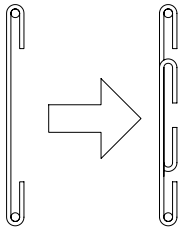
実際の施工では，水平方向鉄筋を取り囲むようなスターラップは施工性が悪いため，水平方向鉄筋にフックをかけて定着することが多く，両側半円形フックの鉄筋をフーチング下面及び上面の水平鉄筋にかけて配置される。

また，スターラップ鉄筋は，1 本もので配置するよう設計図書に記載されている場合がある。しかし，実際の施工では，1 本もので配置することは困難であることがほとんどであり，**図**–2.1 に示すように，施工承諾により 2 本の鉄筋をフーチング内部で継ぐように形状を変更して施工されているようである。また，両側半円形フックをフーチング内部で継ぐ構造となっていても，フーチング内部の狭い範囲で多数のスターラップを密に配置する必要があることから，施工性の悪さに関する意見も聞かれた。スターラップの配置は，500 mm 間隔，設計計算上，せん断耐力が厳しい断面方向に対しては 250 mm 間隔になる場合もあり，密な配筋間隔の影響で施工が煩雑となっているようである (**写真**–2.3)。

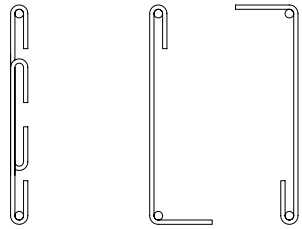


**写真**–2.3　フーチングのスターラップ配置状況

スターラップ形状は，**図**–2.2 に示すように，両側半円形フックのスターラップ鉄筋をコンクリート内部で重ね継手をして施工する形が多い。その他，橋台では片側半円形で他方を直角フックとした形状も用いられている。



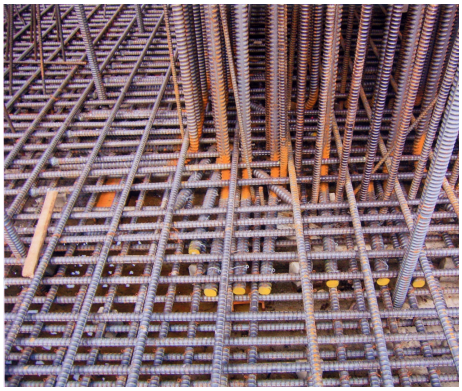
**図**–2.1 施工承諾によるスターラップ形状の変更



**図**–2.2 フーチングの主なスターラップ形状

### 2.1.3 フーチングに配置される鉄筋と柱鉄筋との干渉

近年は，高橋脚等の大規模な下部構造の施工が増えており，柱の軸方向鉄筋には，径 D51 mm の太径鉄筋が用いられている例も多い。通常，軸方向鉄筋をフーチング部へ定着するためには，必要な鉄筋の定着長を確保し，フーチングの下面鉄筋位置まで伸ばし，端部にフックを付けてフーチングに定着させている。しかし，柱の主鉄筋に D51 のような太径鉄筋が配置される場合には，鉄筋のあきが十分に確保されず，内側鉄筋の定着フックが収まらないようである (**写真**–2.4)。特に，柱の鉄筋が D51 鉄筋の 2 段配置となっている場合で顕著である。また，**写真**–2.5 に示すように，橋脚柱付近に杭が配置される設計になっていると，相互の鉄筋が干渉して設計図書通りの鉄筋配置が困難になる場合がある。



**写真**–2.4 橋脚柱の軸方向鉄筋 (D51) の定着

**写真**–2.5 橋脚柱の鉄筋と杭頭補強鉄筋の干渉

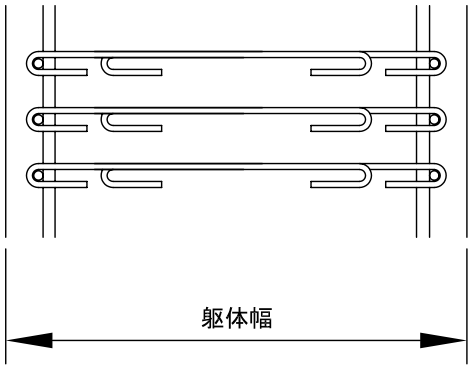
### 2.1.4 帯鉄筋，中間帯鉄筋の配置

帯鉄筋，中間帯鉄筋の配置に関しては，施工が極めて困難である等の意見は聞かれなかった。比較的大断面の躯体部においては，帯鉄筋をあらかじめ地組みしておき，落し込みにより組立てる等の工夫が見られた。ただし，落とし込みによる施工は，主鉄筋が D51 等の太径鉄筋である場合には，帯鉄筋定着のための端部の曲げ加工に，高い加工精度が求められる等，施工は容易ではない。

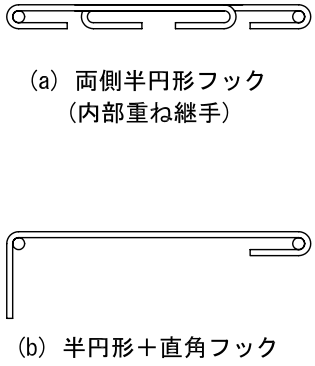
また，中間帯鉄筋は**図**–2.3 に示すように，躯体内部で重ね継手となっているものが多く，その組立ては煩雑で，また，帯鉄筋を配置した後，躯体内部に入って作業する場合は，スペースがな

いことから簡易的な足場を設置しての危険作業となる等，作業の安全性確保に懸念がある。また，橋脚柱の帯鉄筋間隔は，塑性化を考慮する領域で 150 mm 以下，それ以外の領域で 300 mm 以下が標準とされており，鉄筋は比較的密に配置されることになるが，中間帯鉄筋の鉄筋径が大きな場合は，この間隔に鉄筋を通すことが難しく，施工が困難との意見があった。

なお，橋脚柱等に用いられる中間帯鉄筋は，一般に**図**–2.4(a) に示すような鉄筋端部の定着を両側半円形フックにした中間帯鉄筋を躯体内部で重ね継手にする方法が多く，橋台や中空断面橋脚では，**図**–2.4(b) に示すような片側を直角フックに加工した中間帯鉄筋が用いられることも多いようである。




**図**–2.3 柱及び壁部の中間帯鉄筋の配置




**図**–2.4 柱及び壁部の中間帯鉄筋形状

**写真**–2.6 橋脚柱鉄筋状況

**写真**–2.7 中間帯鉄筋の配置

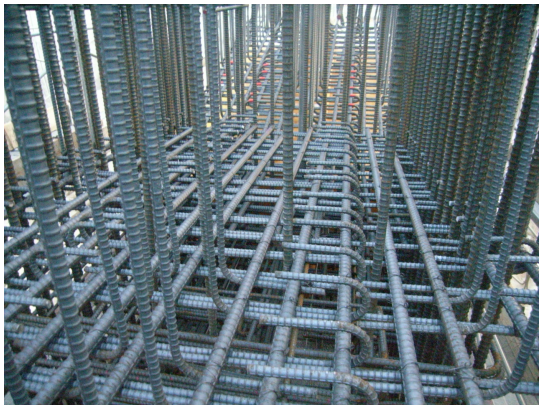
### 2.1.5 はり，沓座部の鉄筋配置

はりや沓座部の鉄筋配置は，はりの帯鉄筋やスターラップ，沓座付近に中間帯鉄筋や補強筋等が多数配置されるため，鉄筋が過密になり施工が困難となる傾向がある。特に沓座回りは，鉄筋が過密な上に，アンカーの箱抜きを設置する必要がある等，鉄筋の配置がシビアになりがちであ

る。特にラーメン橋脚の場合，**写真**–2.8(1)，**写真**–2.8(2) に示すように鉄筋量が非常に多く，はりの主鉄筋が 2 段配置になるとスターラップ等の鉄筋配置が極めて難しくなるとの意見も聞かれた。

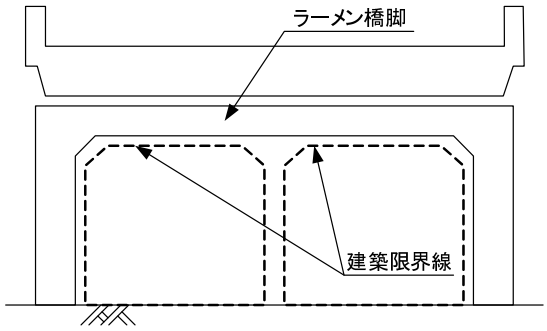
ラーメン橋脚の配筋は，通常の橋脚などと比べて鉄筋配置が難しいようである。ヒアリングを行ったある現場では，**図**–2.5 に示すように，高架道路直下，ラーメン橋脚間を一般道路が併走する計画となっており，建築限界及び道路縦断線形からはり断面の最大寸法が固定されて断面に余裕がなくなり，結果として配筋が過密になったようである。また，一般的には，ラーメン橋脚の隅角部において柱鉄筋と梁鉄筋が輻輳するため，配筋は過密になってしまう傾向がある。

(1) ラーメン橋脚梁上面の配筋状況



(2) ラーメン橋脚の梁と柱の接合部

**写真**–2.8 ラーメン橋脚の配筋状況




**図**–2.5 ラーメン橋脚の建築限界による断面寸法の制約 (模式図)

### 2.1.6 鉄筋の過密配置によるコンクリート打設の施工性

鉄筋が過密配置され，十分な鉄筋同士のあきが確保されず，コンクリート打設等の施工性が低下する。このような鉄筋の過密配置がコンクリート打設に影響する部位として，フーチングと梁部が挙げられる。フーチングの鉄筋は，構造物設計マニュアル (案)[2)]等を参考に，一般に 125 mm 及び 250 mm 間隔 (新直轄工事では 150 mm 及び 300mm の場合も多い) で配置される。125 mm 以下の間隔でフーチング上面鉄筋が配置されると，コンクリート圧送用のホースを鉄筋内部へ挿入

することが出来ないため，上面鉄筋の結束を一時的に緩めて打設を行っている。このような作業は，フーチングが大規模になるほど大きな負担となっている。梁部に関しては，鉄筋間隔が 100 mm に満たない場合もあり，さらにコンクリートの打設が困難となる。

## 2.2　鉄筋の継手方法

現行の道路橋示方書[1)]は，鉄筋の継手方法として重ね継手を前提とした記述がされているが，実施工において，一般的に用いられているガス圧接継手や機械式継手については，鉄筋の種類，直径，応力状態，継手位置等を考慮して継手部の強度を定めるよう規定するに留まり，具体的な方法や管理方法を示していない。

これらの継手方法を実際に工事で用いる場合は，各整備局が定める工事標準仕様書に従って適用されている。仕様書では，鉄筋の種類，直径及び施工箇所に応じた施工方法を選び，その品質を証明する資料を監督職員に提出しなければならないと規定されている。

### 2.2.1　継手方法の選定

継手方法の選定は，鉄筋径によるところが大きく，D25 以下の鉄筋は重ね継手，D29 以上の鉄筋はガス圧接継手とすることが，各地方整備局の設計マニュアル類に示されており，これに従って設計図書が作成され，継手方法を指定しているようである。ただし，ヒアリング調査では，D51 のような太径鉄筋に対してもガス圧接継手で施工する例は稀で，施工者が施工承諾の形でガス圧接継手を機械式継手に変更して施工することがほとんどという回答が多かった。ガス圧接継手を機械式継手に変更する理由としては，以下のような回答が得られた。

1) ガス圧接継手の熟練有資格者の確保の必要性 (機械式継手は一般作業員でも施工可能)

2) 機械式継手による施工性の向上 (特に柱鉄筋の 2 段配置の場合)

3) 機械式継手は天候に左右されにくい

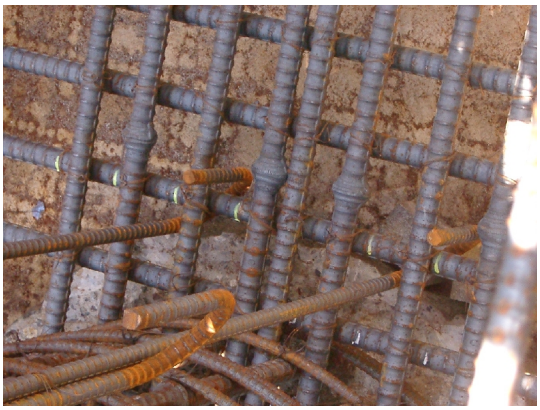
4) 太径鉄筋におけるガス圧接継手の施工速度の低下 (D35～D38 程度が変更の目安)

ガス圧接継手の有資格者の確保は，地域によって難度が異なり，都心部では比較的確保が容易である一方，地方では，隣県から有資格者を呼ぶ場合も有るとのことである。また，有資格者の高齢化が進んでいる地域もあり，将来的には資格者不足が工事の工程に影響することも懸念される。

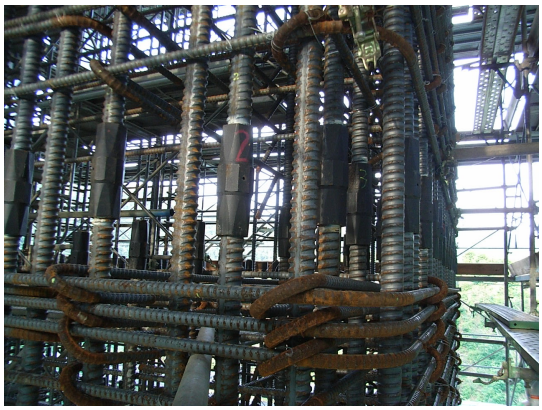
太径鉄筋では，ガス圧接継手の施工速度の低下が工程に影響すると考え，機械式継手に変更する場合がある。ガス圧接継手の場合，鉄筋径が大きくなると圧接面の余熱時間が長くなり，施工効率が低下すること，太径鉄筋に起因して熱が十分に通らず，施工不良となる可能性が懸念されるとの声も聞かれた。したがって，鉄筋径が D35 から D38 程度以上になるとガス圧接継手の施工

効率が落ちると考え，これ以上の鉄筋径に対する継手は，機械式継手へ変更する場合が多いようである。

機械式継手の採用は，施工の容易さ，工程短縮等の点で有利な一方，コスト面で不利となる。実際の工事では，施工承諾という形で継手方法を変更しているのが現状で，費用負担増と工程短縮を比較するという施工者の判断に委ねられている。



**写真**–2.9 ガス圧接継手の施工例



**写真**–2.10 機械式継手の施工例

### 2.2.2 ガス圧接継手の施工，品質管理

ガス圧接継手の施工においては，JIS に定める試験に対する技量を有する技術者が行い，日本圧接協会「鉄筋のガス圧接工事標準仕様書」[3)]等に従い施工及び管理されるのが一般的である。その他，土木学会「鉄筋定着・継手指針 [2007 年版]」[4)]では，研究成果に基づいたガス圧接継手の信頼性を評価する方法が示されるなど，施工及び品質管理の参考となる。

圧接部の品質確認検査については，これらの図書等に基づき，監督員による圧接部全数の目視による外観検査，超音波探傷検査が行われている。また，施工者側では，圧接部全数について超音波探傷検査を実施しているとの報告もあった。一方で，圧接前のけれん状況の確認等は常に行われている訳ではなく，出来形の品質に重点が置かれているため，外観検査や超音波探傷検査を通しての不良率の発見精度が要求されるものと考えられる。

ヒアリング調査を行った範囲では，ガス圧接継手の品質確認検査が不合格となったことはなかったようである。

### 2.2.3 機械式継手の管理

機械式継手を採用する場合，施工に先立って，機械式継手の工法の開発会社側から技術指導者が派遣され，施工担当の作業員を対象に施工方法に関する指導が行われる。品質管理については，土木学会指針[4)]が基本となり，所定の継手性能を発揮するために必要な管理値等の詳細については，各工法毎に定められた開発メーカーが定める規定に従っている。

機械式継手の施工では，本施工前に試験施工を行い，性能確認を行う。本施工の着手前に，鉄筋径や作業者等を実際の施工と同じ条件とした上でモデル供試体を用いて継手作業を行い，そのモデル供試体に対する引張試験を実施して，継手性能を確認する。本施工時の管理としては，施工前，施工後には規定された管理項目に対して，基本的に全数で検査が行われているようである。

## 2.3　鉄筋への溶接について

鉄筋への溶接は，欠陥溶接時はもとより，たとえ断面欠損がなかったとしても溶接による急激な加熱と冷却の影響は避けられず，鉄筋の性質を劣化させ，溶接部で脆性的に破壊する等の強度低下が懸念される。実施工では，下部構造の躯体の施工での溶接は行われていないが，場所打ち杭の鉄筋かごの組立てに関しては，通常，溶接が行われているようである。

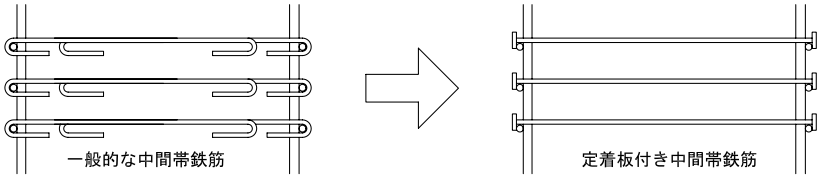
現行の道路橋示方書[1)]では，場所打ち杭の主鉄筋と帯鉄筋との接合は，なまし鉄線や溶接により行うことが示されている。鉄筋かご組立時の溶接に関しては，鉄筋及び帯鉄筋に断面減少等の欠陥が生じないよう注意して作業すれば，基準上問題はない。しかし，溶接による熱影響により鉄筋の性能劣化が生じ，結果として杭体耐力には余裕がない状態となっている可能性も考えられる。特に杭頭部付近には，地震時に大きな曲げ応力が働き，杭体耐力が低下していれば，想定しない範囲で基礎に大きな損傷が生じうる。したがって，躯体の施工と同様に，杭の鉄筋かごであっても溶接を行わなずに組み立てるのが理想である。

ヒアリング調査の中で，鉄筋かご組立時における溶接を禁止した場合に実施工で問題が生じるかと問いかけたところ，溶接の問題点については理解を示しながらも，溶接を行わず，なまし鉄線等の結束線のみで鉄筋かごの組立てを行うことは，鉄筋かごの建込み時の作業の安全性や鉄筋かごの形状保持に問題があるとの意見が大多数であった。一方で，杭頭部付近の限られた範囲や鉄筋かご全長の 1/2 程度の範囲で溶接を禁止する等の制限であれば対応できるという意見も聞かれた。

## 2.4　新しい定着機構を有するせん断補強筋の適用

近年では，鉄筋コンクリート構造物の過密配筋に対して施工性向上に資する新しい工法の開発が進んでいる。その代表的な工法のひとつに，鉄筋端部に定着体を用いて鉄筋をコンクリートに定着させるという工法がある。例えば，**図**–2.6 に示すように，橋脚柱部の中間帯鉄筋に用いることによる施工性の向上が期待される。

鉄筋端部に定着体を用いることにより，例えばフーチングのスターラップや柱の中間帯鉄筋の組立ては確実に容易となる。このため，通常のスターラップや中間帯鉄筋の形状では施工が困難な場合，工期が厳しい工事においては，施工者側からの提案されているとのことであった。しかし，まだ実績が少ない新技術であることから，使用箇所を限定して使用を認めるに留まった例がある等，適用にあたっては抵抗があるとの意見が伺えた。




**図**–2.6 定着体付き鉄筋による中間帯鉄筋の形状変更

施工者の立場からは，施工の容易さ，工程短縮には効果的としながらも，定着体という特殊な加工が必要となるため，コスト高が懸念されているようである。一方で，5 割程度のコスト増となったとしても，鉄筋組立ての施工性が大幅に改善される利点の方が大きいと考え，特に鉄筋径が太く，過密配置となることが懸念される構造物の場合は積極的に採用している施工者も見受けられた。

## 2.5 コンクリート工の施工

### 2.5.1 下部構造で使用するコンクリート

#### (1) コンクリート材料

道路橋示方書[1)]共通編では，コンクリートに用いるセメント材料について，表面積，凝結時間，圧縮強さ，有害成分の制限等の特性や品質が確かなものを使用することを規定されており，JIS 規格に適合するポルトランドセメント (JIS R 5210) 及び高炉セメント (JIS R 5211) は，規定される品質を満足するものとみなしている。

一般に，高炉セメントを使用したコンクリートは，普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べて，初期強度が低く，乾燥や低温の影響を受けやすいため，初期湿潤養生を入念に行う必要があるが，発熱量が少ない，耐海水性が良い，産業副産物の有効利用，セメント製造時のエネルギー及び二酸化炭素排出量の削減，アルカリ骨材反応抑止効果が期待できる等，多くの利点がある。

そのため，施工では，高炉セメント B 種を使用している例が多いが，文献[5)]によれば，近年，製造される高炉セメントを使用したコンクリートは，普通セメントと同等以上の早期強度 (材齢 28 日強度を目標) を確保しようとする傾向があり，結果として単位セメント量が増加し，発熱量がむしろ多くなる場合があるようである。また，高炉セメントの製造過程で混合される高炉スラグが以前よりも細粒化しており，発熱量の上昇に少なからず影響しているようである。

実際に，高炉セメントはひび割れが発生しやすいと認識する施工者もあり，高炉セメントを使用することによる初期養生時の温度ひび割れの発生を懸念して，工事においては，普通ポルトランドセメントを選択する施工者もあった。

また，NEXCO の PC 上部工工事で使用されるコンクリートでは，早強ポルトランドセメントから普通ポルトランドセメントに変更して使用する例がある。これは，早強ポルトランドセメントの硬化熱が比較的大きいことから，ひび割れリスクを回避するための対応と考えられる。ここで，高炉セメントを使用しない理由としては，初期強度を確保するという理由も想定されるが，NEXCO の設計要領[6]第二集では，近年の高炉セメントの温度依存性に留意するよう解説されている。

以上のようなことから，使用するコンクリート材料は，供給されるコンクリートの特性をよく理解して適用性を判断する必要がある。

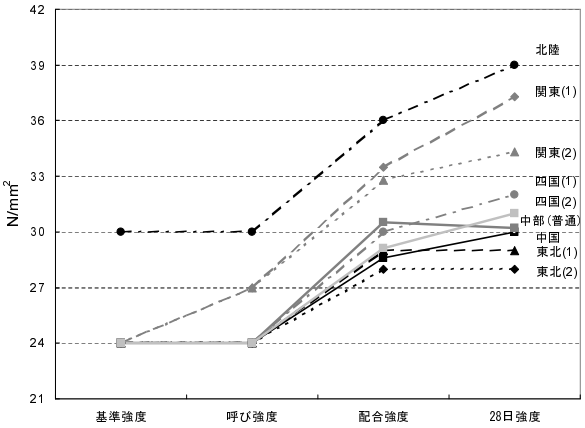
### (2) コンクリートの強度

道路橋示方書[1]共通編では，使用するコンクリートの最低設計基準強度を規定しており，鉄筋コンクリート部材では 21 N/mm$^2$ 以上と規定している。これは，コンクリートの耐久性が水セメント比 *W*/*C* に関係することに起因して，コンクリートの設計基準強度について最低値を規定したものである。一方，土木コンクリート構造物の品質確保に関する通達 (平成 13 年 3 月 29 日付け国官技第 61 号) では，土木コンクリート構造物の耐久性を向上させるため，一般の環境条件の場合のコンクリート構造物に使用する鉄筋コンクリートの水セメント比を 55 %以下とするよう通達している。また，土木構造物設計ガイドライン[2]では，橋梁下部構造のコンクリートについて，高強度化による耐力の向上や耐久性の向上等を目的として，橋台及び橋脚のコンクリートの設計基準強度を 24 N/mm$^2$ を標準とすることを示している。

これを受けて，設計要領類においては，橋梁下部構造の躯体に使用するコンクリートの設計基準強度を 24 N/mm$^2$ で運用しているのが一般的である。また，一部，塩害等の被害に対する耐久性，水密性を高めることを目的として，設計基準強度 30 N/mm$^2$ を標準としている地域もある。近年の新直轄工事の場合，旧道路公団の設計要領に準じた設計を引き継いで施工されているため，橋台壁や橋脚柱，はり等においては，旧道路公団の標準である設計基準強度 30 N/mm$^2$ で施工されている。

レディーミクストコンクリート工場においては，水セメント比 55 %以下を満足するため，呼び強度が 27 N/mm$^2$ に引き上げられている地域もあり，単位セメント量が増加する傾向にある。この要因の一つには，従来に比べて良質な骨材等の材料の入手が難しくなってきていることも考えられている。さらに，配合設計では，呼び強度に対して 2 割程度高めに設定される等，セメント量増加に伴う温度ひび割れの発生が懸念されている。したがって，実際に構築される鉄筋コンクリート構造物のコンクリート強度は，設計基準強度に対して 2〜3 割程度大きな強度を有しているようである。

**図**–2.7 は，ヒアリング調査で回答が得られた工事毎に，フーチングコンクリートを対象に，設計基準強度と配合計画におけるコンクリートの呼び強度及び目標強度，施工時のコンクリート管理で確認された 28 日強度確認試験における発現強度の平均値を示したものである。




**図**–2.7 フーチングコンクリートの設計基準強度と施工時のコンクリート強度の関係

### 2.5.2 コンクリート工の施工

コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]では，セメントの水和熱に起因した温度応力が問題となる場合は，マスコンクリートとして取り扱い，その対策を十分に検討しなければならないことを規定している。また，マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法は，その形式や使用する材料等によって異なるものの，広がりのあるスラブについてはおおよそ厚さ 80～100 cm 以上，下端が拘束された壁では厚さ 50 cm 以上と考えてよいと解説されている。

このため，橋台や橋脚等の鉄筋コンクリート構造物は，フーチング，壁や柱に限らず，マスコンクリートとして考慮される場合が多く，コンクリートの打込み及び養生時には，細心の注意が払われている。

#### (1) コンクリートの打込み

施工者は，施工前に実際の施工と近い条件を設定して温度応力解析を実施していることが少なくない。近年では，公共工事において，施工の難易度に関わらず総合評価方式による工事発注が適用されるようになるなど，施工者には施工の確実性や工期短縮，品質の向上に関する技術提案力が求められるようになっており，コンクリートの品質向上技術の提案として温度応力解析を活用していることが背景にある。

施工時に想定される気温や使用材料等の条件を設定してコンクリート内部の温度応力解析を行った結果は，高性能 AE 減水剤等の混和材料の検討やひび割れ制御鉄筋の検討，打設時におけるリフト高さの検討等，施工計画の検討に活用されている。ヒアリング調査を行った現場の中には，コンクリートの表面温度，内部温度を計測している事例があった。温度応力解析は，応力の推定精度は別にして，温度に関しては，ある程度良い精度の結果が得られている印象である。解析値と実測値は 5～10 ℃程度の差があるものの，解析による温度上昇や下降の傾向は，実際の傾向を良く表現出来ているようである。これらの解析を行い，ひび割れを制御するコンクリートの打込み計画を立案した事例は，いずれも有害なひび割れを生じていないことからも，適切な条件設定を

行ったうえで，得られた解析結果を実施工に反映させることは，温度ひび割れの抑制対策方法の一つとしてある程度有効と考えられる一方で，ただし，解析結果の評価方法については個人差が大きいとの意見もあり，今後，温度応力解析の推定精度向上だけではなく，活用方法に関する取り組みも必要である。

コンクリートの打込み計画，施工時において検討，配慮されている点で，ヒアリング調査から得られた主な回答を以下に示す。

- 単位セメント量の少ないプラントの選定
- 普通ポルトランドセメント使用の検討
- 低熱セメントの検討 (供給可能なプラントが少なく，コスト増となるため，適用例は少ない)
- 高性能 AE 減水剤や膨張材等の混和材料の使用の検討
- ひび割れ制御鉄筋の設置検討
- 夏期のコンクリート打設を避けるような工程の検討
- 気温が高くない時間帯におけるコンクリート打込み計画の検討
- コンクリートの 1 層あたりの打込み高さを 50 cm 程度に制限して入念に締固める
- 誘発目地の設置 (橋台壁部への適用)

この他，コンクリートのひび割れ抑制のために網目状繊維のような製品を混合するという回答もあった。

### (2) コンクリートの養生

品質の良いコンクリート構造物を構築するため，コンクリートの打込み後にも適切な養生が必要となる。基本的には，コンクリート内外の温度差や，急激な温度変化が生じないよう，コンクリートの温度を制御するための養生方法を検討する。特に，高炉セメントを使用したコンクリートは，道路橋示方書[1)]共通編にも解説されているように，硬化初期に湿潤状態が保たれていないと，強度及び耐久性が損なわれるほか，硬化初期のコンクリート温度によっても長期強度に影響が生じるため，入念な養生が必要である。

ヒアリング調査では，複数の施工者から，養生方法や養生期間の目安を検討するために温度応力解析を活用しているとの回答が得られている。温度応力解析を実施した場合もしない場合も，通常の施工で実施されている養生方法について質問したところ，回答が多かったのは，コンクリートの湿潤養生と型枠脱枠期間の延長であった。また，温度応力解析を行った場合の養生としては，上記の方法に加えて，型枠の外面あるいは型枠脱枠後のコンクリート表面にシートを巻き付けて，コンクリート内外の温度差の緩和，コンクリート内部の乾燥軽減を図っている例が複数の現場で確認されたのが特徴的であった。

コンクリートの乾燥を防ぐ湿潤養生については，ヒアリングを行った全ての現場で回答があった。主な方法としては，養生マットによる湿潤養生の他，湛水養生，散水養生等が行われていた (**写真**–2.11，**写真**–2.12)。養生に用いる水とコンクリートに温度差があることを懸念して，予めノッ

チタンクにコンクリート養生用の水を貯めておき，水温を外気温に近づけてから使用するといった工夫をされている現場も見られた。型枠の脱枠は，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]にも示されるように，コンクリート供試体の圧縮強度が所定の値に達していることが確認して判断される一方で，コンクリートのひび割れ抑制の観点から，型枠を一定期間残置する施工者が多かった。その他，乾燥防止，防風対策としてコンクリート打設後の躯体にポリエチレン製のシートを巻き付ける等の工夫が複数の現場で見られた (**写真**–2.13，**写真**–2.14)。また，コンクリート内部の水分の逸散を防ぐため，表面に膜養生剤を散布あるいは塗布する膜養生を実施している現場もある。

フーチングの型枠の脱枠時期についてヒアリングを行ったところ，コンクリート打設日から 3～9 日後と施工者により判断が分かれる結果であった。脱枠残置期間の判断材料としては，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]に示される，型枠を取り外してよい時期のコンクリート圧縮強度の参考値および湿潤養生期間の標準を参考に参考にする事例や，温度応力解析の結果から型枠残置の必要期間を設定する等の事例があった。

**写真**–2.11 フーチングコンクリート湛水養生

**写真**–2.12 フーチングコンクリート湿潤養生

**写真**–2.13 柱部のシート巻きによる養生
(型枠脱枠前)

**写真**–2.14 柱部のシート巻きによる養生
(型枠脱枠後)

### 2.5.3　コンクリートのひび割れとその対策

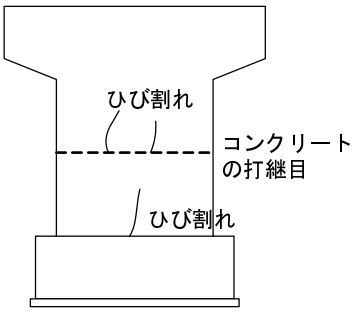
#### (1)　ひび割れ調査

土木コンクリート構造物の品質確保に関する通達 (平成 13 年 3 月 29 日付け国官技第 61 号) により，重要構造物について，請負者が，ひび割れ発生状況の調査を実施することが義務づけられている。その運用に関する通知 (平成 13 年 3 月 29 日付け国コ企第 2 号) によれば，調査対象は，内空断面積が 25 $m^2$ 以上の橋梁上・下部工が対象となっており，0.2 mm 以上のひび割れについて展開図を作成し，写真を添付するよう求められている。実際には，それ以下のひび割れについても記録されているようである。ひび割れの調査時期については，特に規定はないものの，型枠の脱枠直後や足場の解体前，コンクリート内部温度が低下し，外気温と平衡したと判断される時期等，構造物の温度変化を考慮して行われている。

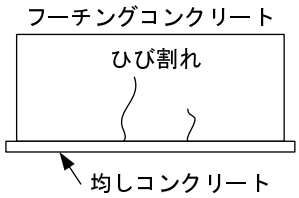
#### (2)　ひび割れの発生箇所

橋梁下部構造でひび割れの発生しやすい箇所は，橋台壁，橋脚柱で，下部コンクリートに拘束される柱又は壁の基部，または打継ぎ目から鉛直方向にひび割れが発生する場合が多いようである。

また，規模の大きなフーチングにおいて，フーチング側面の中央部において鉛直方向にひび割れが発生する場合がある。




**図**–2.8 橋脚柱におけるひび割れ発生箇所の例




**図**–2.9 フーチング側面におけるひび割れ発生箇所の例

コンクリートの強度が上がると，内部温度上昇による乾燥収縮が懸念されるが，設計基準強度 30 $N/mm^2$ を標準としている地域では，温度応力解析等による事前検討が入念に行われているためか，大きなひび割れの問題は起こっていないようである。一方，新直轄方式の工事では，NEXCO の仕様で設計されたものは橋台壁や橋脚柱のコンクリートの設計基準強度を 30 $N/mm^2$ となっているが，ヒアリングによると，このような場合は，ひび割れ補修を行う場合が設計基準強度 24 $N/mm^2$ に比べて多いという印象があるようである。これは主に下部拘束の影響とコンクリート強度の増加に伴う単位セメント量の増加の影響が大きいと考えられる。

### (3) ひび割れの補修，補強

ひび割れが確認されれば，その大きさを問わず経過観測を行い，そのひび割れが進行性のものか等について判断する。最終的にはコンクリート診断士等によるひび割れ発生の原因推定と対処の要否及び補修方法の検討を行っている。ひび割れ調査結果の評価については，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]やコンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針[8]等が参考となっている。

補修の要否を判断する許容ひび割れ幅については，前述の通達によれば，0.2 mm 以上のひび割れが対象となるものと考えられるが，実際には，構造物の部位やかぶり厚さ等によってその許容値は異なると思われる。

海外基準の ASSHTO LRFD[9]では，コンクリート表面のひび割れ幅と鋼材腐食の関係は不明確であるという考え方にある一方で，鋼材間隔の設計を行うことにより表面から鋼材位置に至るまでのひび割れを制御することが意図されているようである。過去の ASSHTO LRFD[10]では，かぶり厚さが 50 mm 以下の場合，厳しい腐食環境にない場合は，コンクリート表面におけるひび割れ幅を 0.4 mm 以下とするものとしている。コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]では，構造物の要求性能を損なわない許容値を鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値としている。また，コンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針[8]では，補修の要否に関わるひび割れ幅の限度を示している。これは，補修を必要とする，または必要としないコンクリート表面のひび割れ幅の限度を，ひび割れの深さやかぶり厚等の要因の影響の大きさや環境条件，耐久性，防水性の観点から目安として示したものである。

土木研究所資料 (以下，土研資料と呼ぶ) 4130 号[11]では，地域性の違いを考慮した長期の暴露試験を行い，コンクリートのひび割れ幅と塩化物イオン濃度や鉄筋の腐食面積など，様々なパラメータの関係について分析している。これらの試験結果の分析から，かぶり厚さやひび割れ幅の大きさによって耐久性に及ぼす影響は大きくなるものの，現行の道路橋示方書[1]のかぶりを満足していれば，ひび割れ幅が 0.2 mm 以下の場合であれば，腐食等を抑制することが可能であると考察している。なお，この試験については，引き続き長期的な観察が行われる予定である。したがって，一般に 0.2 mm 以下のひび割れであれば，耐久性にも問題はなく，補修の必要はないと考えられているものの，実際の運用では，将来的な維持管理の観点から，施工時に何らかの対策を行っている事例が多いようである。

ひび割れ補修方法としては，様々な方法が存在しており，ひび割れ発生状況等を考慮して補修方法が選定される。ヒアリング調査では，0.2 mm 以上のひび割れに対する補修方法としては，注入工法 (樹脂系注入，低圧注入等) を検討する場合が多いようである。0.2 mm 未満のひび割れについては，浸透性の改質剤や表面皮膜等の方法により，外部からの遮水する等の補修方法を選択しているようである。

# 第3章　鉄筋端部の定着方法に関する検討

前章で示した施工実態ヒアリング調査の結果からも，鉄筋コンクリート構造物の鉄筋過密化により鉄筋組立ての施工性が悪化していることが明らかとなった。

本章では，現在運用されている道路橋示方書の要求事項を考慮した上で，中間帯鉄筋やせん断補強鉄筋の配置等，鉄筋組立ての施工性向上のための方策について検討を行う。

## 3.1　現行の道路橋示方書に示される鉄筋コンクリート部材の構造細目

### 3.1.1　鉄筋の定着

鉄筋の端部は，鉄筋とコンクリートが一体となって働くように，確実に定着するものとし，次のいずれかの方法によりコンクリートに定着する場合は，これを満足するとみなすことができる。

1) コンクリート中に埋込み，鉄筋とコンクリートの付着により定着する。

2) コンクリート中に埋込み，フックを付けて定着する。

3) 定着板を取付けて機械的に定着する。

鉄筋とコンクリートの付着に必要な定着長やフックを付ける場合の定着長については別途規定されている。ただし，定着板を取付ける機械的な定着については，その形状や適用条件，要求性能等の規定に関する記述はなく，コンクリートの付着やフックによる定着方法を置き換えるものであるか等については明らかでない。その他，はりの鉄筋について，正鉄筋，負鉄筋，折曲げ鉄筋等のそれぞれに対する定着が規定されている。

### 3.1.2　鉄筋のフック及び鉄筋の曲げ形状

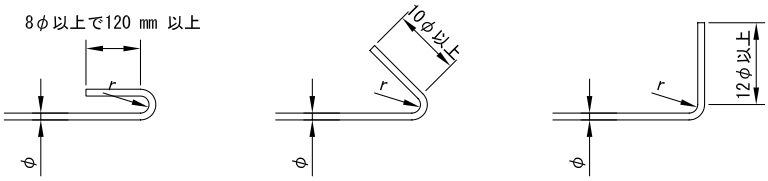
鉄筋の曲げ形状については，加工が容易で，かつ，鉄筋の材質が痛まないような形状で，コンクリートに大きな支圧応力を発生させないような形状とするものと規定され，以下に示すフックの曲げ形状をしたものは，これを満足するとみなすことができる。

1) 鉄筋のフックには，半円形フック，直角フックあるいは鋭角フックを用いる。

2) 鉄筋のフックは，曲げ加工する部分の端部から次に示す値以上にまっすぐにのばす。

(a) 半円形フック：鉄筋の直径の 8 倍，又は 120 mm のうち大きい値

(b) 鋭角フック：鉄筋の直径の 10 倍




(a) 半円形フック　　(b) 鋭角フック　　(c) 直角フック

ここに，　$\phi$　：鉄筋の直径 (mm)

$r$　：鉄筋の曲げ内半径 (mm)

**図**–3.1 鉄筋のフックの曲げ形状

(c) 直角フック：鉄筋の直径の 12 倍

また，曲げ内半径について，フック，スターラップ及び帯鉄筋，折曲げ鉄筋やラーメン構造の端節点部の外側に沿う鉄筋に対してそれぞれ規定されている。

### 3.1.3　スターラップ

はりやフーチングにせん断補強を目的としてスターラップを配置する場合は，有効に働くように配置するものとし，次による場合には，これを満足するとみなしている。

1) 直径 13 mm 以上の異形棒鋼とする。

2) 部材全体にわたって配置する。

3) はりのスターラップは，引張鉄筋を取り囲み，フックをつけて圧縮部のコンクリートに定着する。また，圧縮鉄筋がある場合は，引張鉄筋及び圧縮鉄筋を取り囲み，フックをつけて圧縮部のコンクリートに定着する。

4) フーチングのスターラップは，フーチング下面及び上面に配置される水平方向鉄筋を取り囲みフックをつけてコンクリートに定着するか，又は水平方向にフックをかけて定着する。

5) はりに計算上スターラップを配置する必要がある場合，スターラップの間隔は，はりの有効高の 1/2 以下かつ 300 mm 以下とする。また，計算上スターラップを必要としない場合においても，スターラップをはりの有効高以下の間隔に配置する。

6) フーチングに計算上スターラップを配置する必要がある場合，スターラップの間隔は，フーチングの有効高の 1/2 以下とする。また，計算上スターラップを必要としない場合においても，スターラップをフーチングの有効高以下の間隔に配置する。

### 3.1.4　帯鉄筋

柱状の部材に応力の分散，せん断補強を目的として帯鉄筋を配置する場合には，有効に働くように配置するものとし，次による場合には，これを満足するとみなしている。

1) 直径 13 mm 以上の異形棒鋼とする。

2) 柱状部材の全長にわたって配置し，その間隔は 300 mm 以下とする。

3) 帯鉄筋は，軸方向鉄筋を取り囲むように配置し，端部はフックをつけて断面内部のコンクリートに定着することを標準とし，フックのない重ね継手は原則として用いてはならない。なお，帯鉄筋を継いで配置する場合は，その継手部は高さ方向に千鳥状に配置するものとする。

4) 高さ方向に対して帯鉄筋の間隔を変化させる場合には，その間隔は徐々に変化させるものとし，急変させてはならない。

5) 橋脚柱の軸方向鉄筋を段落しする場合，段落し位置においては，これより上下それぞれに橋脚断面の短辺長，あるいは直径の 1.5 倍に相当する断面領域では，帯鉄筋の間隔を 150 mm 以下とする。

### 3.1.5　中間帯鉄筋

柱状の部材にせん断補強を目的として中間帯鉄筋を配置する場合には，有効に働くように配置するものとし，次による場合には，これを満足するとみなしている。

1) 中間帯鉄筋は，帯鉄筋と協同してせん断に抵抗させる場合には，帯鉄筋と同材質，同径の鉄筋とする。

2) 中間帯鉄筋は，計算上せん断補強が必要な区間に加えて，その区間の両端にそれぞれ部材断面の有効高に等しい長さを加えた区間に配置する。

3) 中間帯鉄筋の配置間隔は，鉛直方向は部材の有効高の 1/2 以内，水平方向は 1 m 以内とする。

4) 中間帯鉄筋は，原則として断面周長方向に配置される帯鉄筋にフックをかける。なお，軸方向鉄筋が 2 段配筋の場合には，最も外側に配置される帯鉄筋にフックをかければよい。

5) 中間帯鉄筋は，1 本の連続した鉄筋，あるいは部材断面内に継手を有する 2 組の鉄筋により部材断面を貫通させることを標準とする。ただし，部材断面内部にて継手を設ける場合には，中間帯鉄筋の強度に相当する継手強度が確保できるように適切な継手構造を選定する。

### 3.1.6　鉄筋コンクリート橋脚のじん性を向上するための構造細目

鉄筋コンクリート構造の橋脚に塑性化を考慮する場合，その領域においては，かぶりコンクリートが剥離して軸方向鉄筋や帯鉄筋が露出した場合でも，軸方向鉄筋や帯鉄筋，中間帯鉄筋が十分に機能する必要がある。そこで，道路橋示方書 耐震設計編では，これらの配筋に関する構造細目を定めている。この中で，帯鉄筋及び中間帯鉄筋については，次のような規定がある。

1) 軸方向鉄筋の座屈抑制効果と内部コンクリートの拘束効果を確実に保持できるような形式及び間隔で配置する。

2) 帯鉄筋は，直径 13 mm 以上の異形棒鋼とし，塑性化を考慮する領域における帯鉄筋間隔は 150 mm 以下とすることを標準とする。

3) 帯鉄筋は，軸方向鉄筋を取り囲むように配置し，端部は**図**–3.1 に示すフックをつけて橋脚内部のコンクリートに定着することを標準とし，フックのない重ね継手は原則として用いてはならない。また，直角フックを用いる場合は，かぶりコンクリートが剥離してもフックが外れないように配慮する。なお，帯鉄筋の継手部は高さ方向に千鳥状に配置し，フックは，曲げ加工する部分の端部から**図**–3.1 に示す値以上まっすぐにのばす。また，フックの曲げ内半径は帯鉄筋の直径の 2.5 倍以上とする。

4) 矩形断面の隅角部以外で帯鉄筋を継ぐ場合には，原則として帯鉄筋の鉄筋径の 40 倍以上の帯鉄筋を重ね合わせ，**図**–3.1 に示すフックを設けることを標準とする。

5) 橋脚断面内部には中間帯鉄筋を配置し，内部コンクリートの拘束効果を高めるために配置する中間帯鉄筋は，以下の条件を満足するものとする。

   i) 原則として帯鉄筋と同材質，同径の鉄筋を用いる。

   ii) 原則として長辺及び短辺方向に配置する。

   iii) 中間帯鉄筋の断面内の配置間隔は 1 m 以内とする。

   iv) 帯鉄筋の配置される全ての断面で配筋する。

   v) 原則として断面周長方向に配置される帯鉄筋にフックをかける，軸方向鉄筋が 2 段配筋の場合には，最外端の帯鉄筋にフックをかける。

   vi) 帯鉄筋にかける側の中間帯鉄筋の端部は，**図**–3.1 の半円形フック，もしくは鋭角フックにより橋脚内部のコンクリートに定着することを原則とする。

   vii) 中間帯鉄筋は 1 本の連続した鉄筋，あるいは橋脚断面内部に継手を有する 2 組の鉄筋により橋脚断面内部を貫通させることを標準とする。ただし，橋脚断面内部において継手を設ける場合には，中間帯鉄筋の強度に相当する継手強度が確保できるように適切な継手構造を選定するものとする。

## 3.2　鉄筋配置の実際

現在，橋梁下部工における鉄筋コンクリート構造物の中間帯鉄筋やスターラップ等のせん断補強筋は，ヒアリング調査の結果からも明らかなように，構造物の部位や塑性化の考慮の有無にかかわらず，鉄筋端部は両側を半円形フックにしてコンクリートに定着されているものがほとんどである。すなわち，コンクリートの定着方法としては，**図**–3.1 に示す 3 つの方法があるものの，標準的なフック形状は，半円形フックとなっている。

半円形フック形状は，コンクリートへの定着性に優れ，内部コンクリートの拘束効果によりじん性を確保できることが確認されている等，信頼性が高い一方で，その形状に起因して鉄筋配置が困難となる場合もある。

一方で，鉄筋を機械的に定着するという新技術が民間企業の各社から提案されてきており，新技術情報システム ( NETIS ) に登録されている工法も複数ある。しかし，道路橋示方書では，このような機械的な定着方法を鉄筋の定着の項に規定しているにも関わらず，その定着部の形状や要求される性能を示したものはなく，実際に適用するための明確な指標がない。

## 3.3　構造部位の性能と中間帯鉄筋，せん断補強筋に要求される性能

橋梁下部構造の鉄筋コンクリート構造物のうち，橋脚やラーメン橋脚等で塑性化を考慮する部位，塑性化を考慮しない部位に分類し，中間帯鉄筋，せん断補強筋に要求される性能毎に分類した。これを**表**–3.1 に示す。

**表**–3.1 部材に要求される性能と中間帯鉄筋及びせん断補強筋に要求される性能

<table>
<tr><th>耐震設計上の分類</th><th>構造部位</th><th>部材に期待する性能</th><th>中間帯鉄筋，せん断補強筋に求められる性能</th></tr>
<tr><td rowspan="2">塑性化を考慮する部材</td><td>橋脚柱<br>（塑性化を考慮する領域）</td><td rowspan="2">強度 (軸力 · 曲げ · せん断) 及び塑性変形性能</td><td rowspan="2">内部コンクリートの拘束効果及びせん断補強効果</td></tr>
<tr><td>ラーメン橋脚の柱，はりの塑性ヒンジ長の 4 倍区間</td></tr>
<tr><td rowspan="6">塑性化を考慮しない部材</td><td>橋脚柱</td><td rowspan="3">強度 (軸力 · 曲げ · せん断) 及び設計上は考慮しないが，ぜい性破壊の回避</td><td rowspan="3">せん断補強効果及びぜい性破壊の回避</td></tr>
<tr><td>ラーメン橋脚柱</td></tr>
<tr><td>橋台壁</td></tr>
<tr><td>橋台パラペット<br>（落橋防止構造付き）</td><td rowspan="3">曲げ，せん断耐力を期待</td><td rowspan="3">せん断補強効果</td></tr>
<tr><td>はり</td></tr>
<tr><td>フーチング</td></tr>
</table>

## 3.4　定着部のフック形状の違いによる性能の差別化

半円形 (鋭角) フックおよび直角フックの定着位置の違いに着目すると，半円形 (鋭角) フックの場合，折り返した鉄筋の端部を内部コンクリートへ定着するため，部材の軸方向鉄筋が降伏し，かぶりコンクリートが剥落したとしても，内部コンクリートが鉄筋端部を拘束している限り，損傷後も定着は確保される。一方，直角フックの場合は，内部コンクリートではなく，かぶりコンクリートへ定着していることから，軸方向鉄筋が降伏し，直角フックが定着しているかぶりコンクリートが剥落すれば，その損傷に伴い定着が不確実になるという違いがある。

したがって，橋脚等の塑性化を考慮する領域においては，かぶりコンクリートが剥落し，鉄筋が露出した状態となっても帯鉄筋や中間帯鉄筋が十分に機能し，内部コンクリートが死荷重を支える必要があることから，直角フックではなく，半円形 (鋭角) フックがより適切である。ただし，部材に作用する軸応力度の大きさによっては，直角フックと半円形フックの性能の違いはほとんどないとの報告もある[12)]。そこで，既往の実験等を参考に，定着部のフック形状の違いが部材の性能に及ぼす影響について考察する。

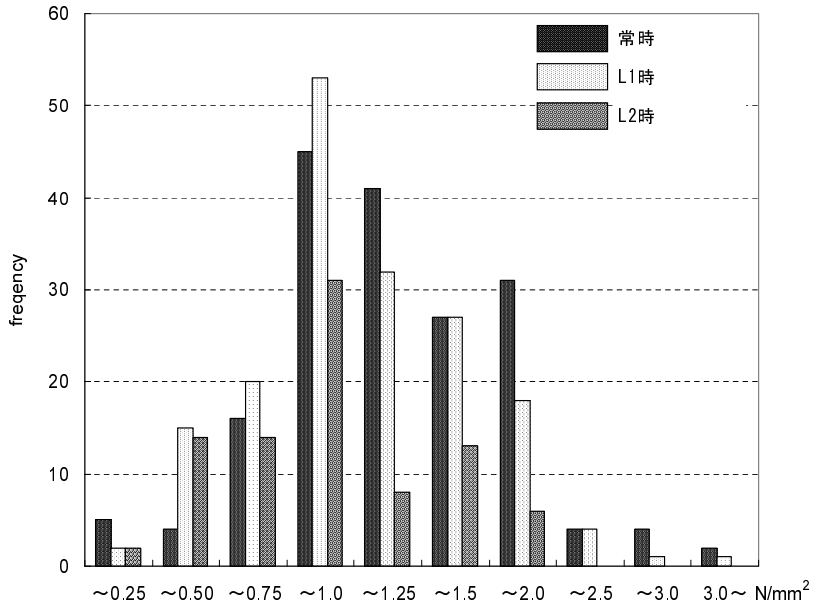
### 3.4.1　中間帯鉄筋のフックの形状が躯体の変形性能に及ぼす影響

#### (1)　実構造物の橋脚基部における軸力及び帯鉄筋比について

一般的な橋脚に作用する軸力の大きさは，諸外国に比べて比較的低軸力レベルにある (1.0 N/mm$^2$ 程度)。実際に設計されている道路橋橋脚がどの程度の軸力を想定しているのか調べた。

土研資料 4037 号[13)]の検討において全国の地方整備局から収集されたデータを参照した。**図**–3.2 は，橋軸方向の設計に関して，フーチング底面に作用する鉛直力のデータが得られたので，まず，この鉛直力からフーチング重量及び上載土重量を除き，橋脚基部に作用する鉛直力を求めた。なお，上載土重量は，簡便化のため，上載土厚を一律 50 cm と仮定して計算した。そして，橋脚柱の断面寸法が判別できる橋脚を選定し，橋脚断面積で除して，これを軸力レベル毎に分類した。

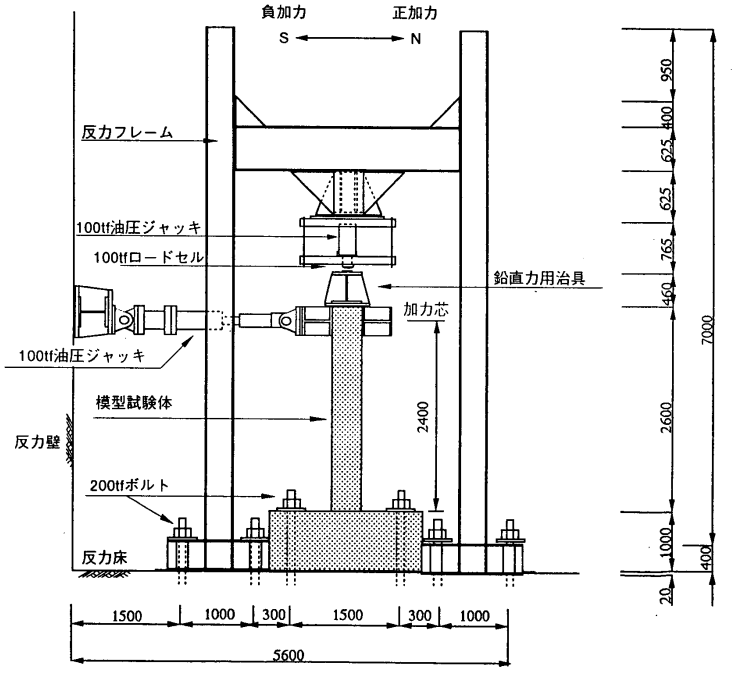
**図**–3.2 から，設計上，橋脚に作用する軸力はほとんどが 1.0 N/mm$^2$ 前後に分布していることが分かる。軸力が 2.0 N/mm$^2$ 以上となる事例は常時で 10 件，レベル 1 地震時で 6 件あったが，ほとんどが中空断面橋脚，またはラーメン橋脚のような，断面積が比較的小さなものが多い。土研資料 4037 号[13)]では確認できなかったが，ラーメン橋脚については，地震時に軸力が大きく変動することが考えられる。上記以外のいくつかの設計例で確認したところ，常時，L1 地震時，L2 地震時で軸力の値は 2.0～3.0 N/mm$^2$ 程度であった。したがって，3.0 N/mm$^2$ (0.13$\sigma_{ck}$，ここに $\sigma_{ck}$ を設計基準強度の 24 N/mm$^2$ と仮定) 程度の範囲までの橋脚の挙動を考える必要がある。




**図**–3.2 橋脚の設計で考慮される軸力状態 (土研資料 4037 号[13)]の調査データより)

### (2) 既往の実験–土木研究所資料第 3563 号[14)]

土木研究所資料第 3563 号[14)]では，鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす中間帯鉄筋の影響評価のため，中間帯鉄筋の定着方法の違い等の構造細目に着目した実験的研究が行われている。




**図**–3.3 鉄筋コンクリート橋脚柱の正負交番載荷実験概要図[14)]

さまざまなフック形状を有する中間帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート橋脚柱の供試体について，正負交番荷重を水平方向に載荷して，変形性能の違いが調べられた。実験の概要図を**図**–3.3 に示す。水平載荷は正負それぞれの載荷で引張側の鉄筋が降伏ひずみに達した変位を降伏変位とし，これの整数倍を荷重ステップとして，各荷重ステップで正負 3 回ずつ載荷行っている。また，1 N/mm$^2$ 相当 (= $0.03\sigma_{ck}$～$0.04\sigma_{ck}$，ここに $\sigma_{ck}$ はコンクリートの一軸圧縮強度) の軸圧縮力を与えている。

実験供試体の柱断面は，1200 mm × 600 mm の断面を有しており，中間帯鉄筋の有無や端部定着方法等の構造細目を変化させたものを 9 ケース作成し，実験を行っている。これを**図**–3.4 に示す。また，実験供試体の配筋状況は**表**–3.2 に示すとおりである。

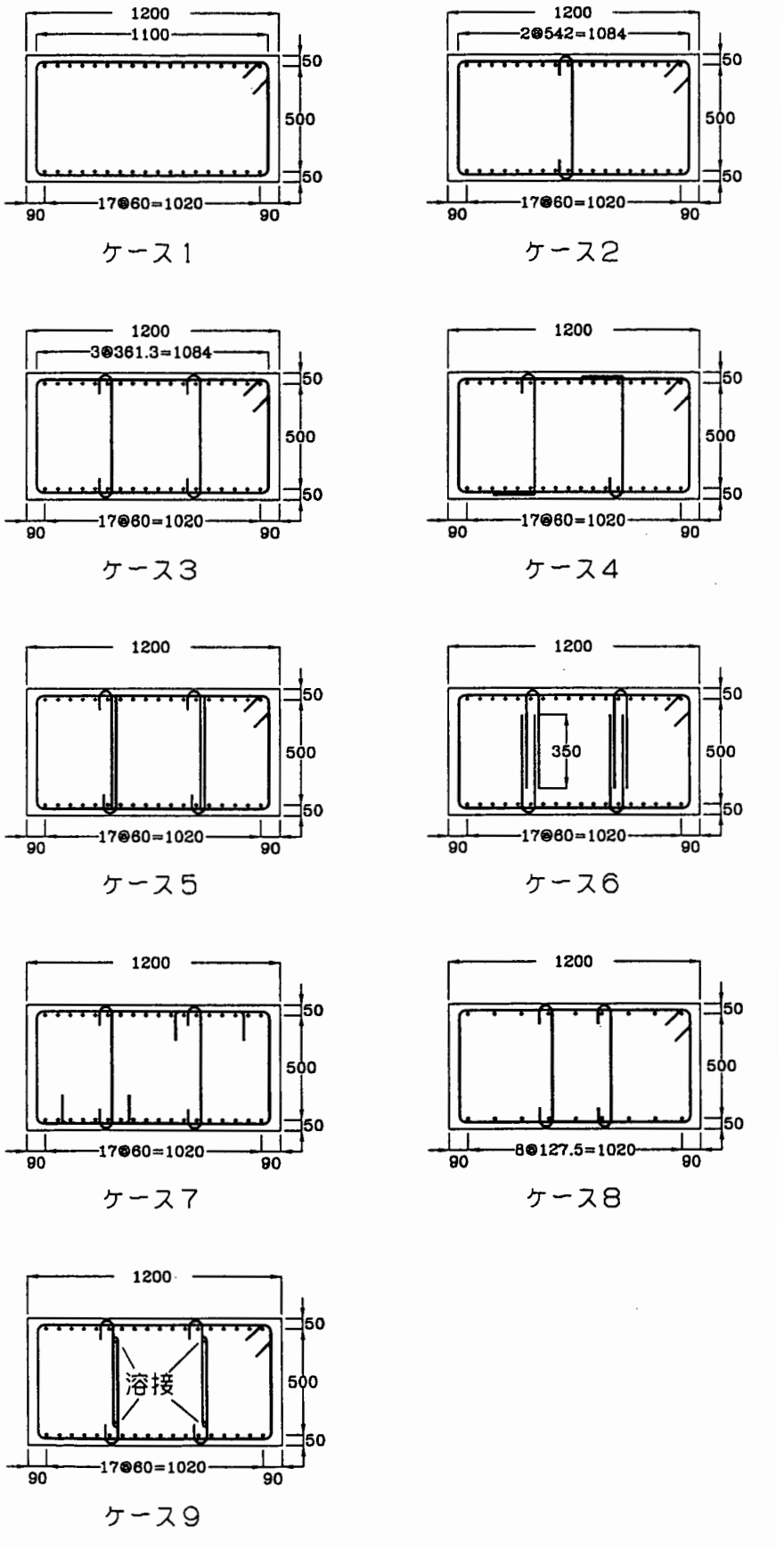
本資料では，中間帯鉄筋の端部定着方法の違いを評価するため，主にケース 3，ケース 4 の試験に着目する。ケース 3 とケース 4 の違いは，中間帯鉄筋の端部のフック形状で，ケース 3 は両側半円形フックを有する中間帯鉄筋を断面内に 2 本配置した供試体，ケース 4 は半円形フックと直角フックを有する中間帯鉄筋を断面内に 2 本配置した供試体で実験を行ったものである。

**表**–3.2 供試体の配筋[14)]

| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 軸方向鉄筋 | D16×36 | D16×36 | D16×36 | D16×36 | D16×36 |
| 軸方向鉄筋比 $p$ (%) | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 帯鉄筋 | D16@60 | D13@80 | D13@80 | D13@80 | D13@80 |
| 横拘束筋の体積比 $\rho_S$ | 1.20 | 1.17 | 1.75 | 1.75 | 1.75 |
| 帯鉄筋比 $p_W$ (%) | 0.55 | 0.40 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| 中間帯鉄筋の<br>フック形状 | 中間帯鉄筋<br>なし | 両側半円形<br>フック | 両側半円形<br>フック | 半円形<br>+ 直角フック | 両側半円形<br>フック |
| | ケース 6 | ケース 7 | ケース 8 | ケース 9 | |
| 軸方向鉄筋 | D16×36 | D16×36 | D22×18 | D16×36 | |
| 軸方向鉄筋比 $p$ (%) | 0.99 | 0.99 | 0.97 | 0.99 | |
| 帯鉄筋 | D13@80 | D13@80 | D13@80 | D13@80 | |
| 横拘束筋の体積比 $\rho_S$ | 1.75 | 1.75 | 1.75 | 1.75 | |
| 帯鉄筋比 $p_W$ (%) | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | |
| 中間帯鉄筋の<br>フック形状 | 両側半円形<br>フック | 両側半円形<br>フック | 両側半円形<br>フック | 両側半円形<br>フック | |

### 1) 損傷の推移

ケース 3，ケース 4 の損傷状況の推移は次のようであった。両ケースとも，$1\delta_y$ で曲げひび割れが生じた後，載荷ステップが進むにつれてひび割れ本数が増加し，ケース 3 では，$7\delta_y$ で鉛直方向のひび割れ，$8\delta_y$ でかぶりコンクリートの剥離が始まり，$8\delta_y$ の 3 サイクル目で中間帯鉄筋のフックの緩みだしが顕著となり，1 本の軸方向鉄筋の破断が確認されている。最終的に，$9\delta_y$ で軸方向鉄筋が 16 本破断して実験を終了している。一方，ケース 4 では，$5\delta_y$ で，鉛直方向にひび割れが生じ，$6\delta_y$ でかぶりコンクリートのはらみだし，$7\delta_y$ でかぶりコンクリートの剥離が始まり，ここ

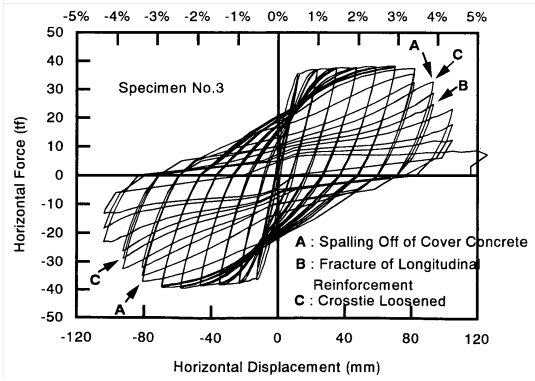



**図**–3.4 供試体断面図[14)]

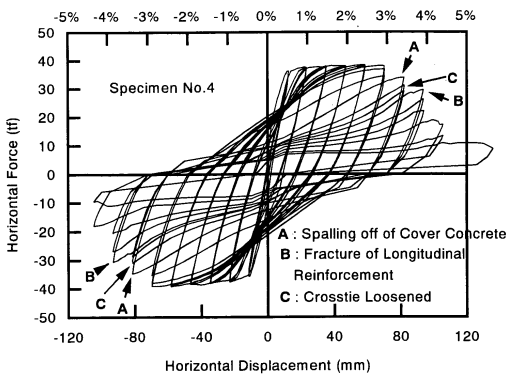
で 90 °フックの開きだしが確認されている。$8\delta_y$ で 10 本の軸方向鉄筋の破断，$9\delta_y$ ではさらに 14 本の軸方向鉄筋の破断が確認され，実験を終了している。

### 2) 変形性能の比較

実験から得られた荷重変位曲線を**図**–3.5，**図**–3.6 に示す。



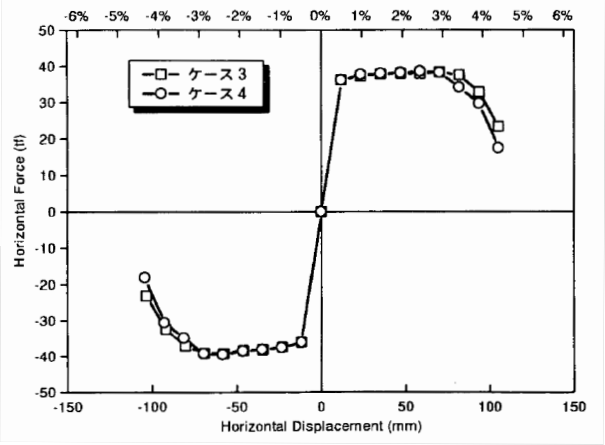

**図**–3.5 ケース 3 の水平荷重–変位関係[14)]




**図**–3.6 ケース 4 の水平荷重–変位関係[14)]

**図**–3.5，**図**–3.6 の荷重変位曲線から，ケース 3 は，ケース 4 と比較して最大耐力を発揮している塑性領域が大きく，終局変位 (耐力が低下し始める点とする) も大きい。

また，**図**–3.7 は，実験で得られた荷重変位曲線の包絡線を示したものである。変形性能はケース 3 がケース 4 に比べて 15%程度大きいようである。

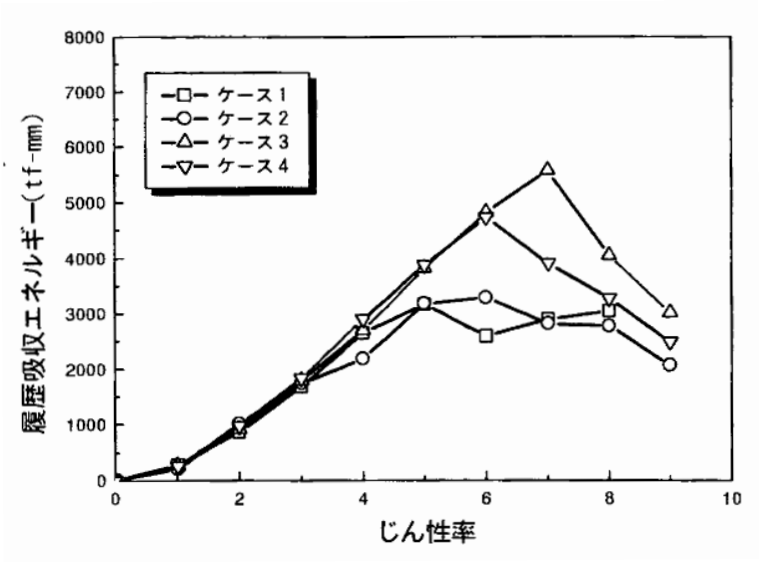



**図**–3.7 ケース 3 とケース 4 の荷重変位曲線の比較[14)]

### 3) エネルギー吸収性能

**図**–3.8 は，各荷重ステップ毎の履歴吸収エネルギーと，じん性率の関係を示したものである。

中間帯鉄筋の端部を両側半円形フックとしたケース 3 と，片側を直角フックとしたケース 4 に着目すると，ケース 3 の場合は，他の定着方法と比べてエネルギー吸収性能が大きいようである。ケース 3，4 ともに，履歴吸収エネルギーが低下する荷重ステップは，かぶりコンクリートのはら




**図**–3.8 各供試体の履歴吸収エネルギーとじん性率の関係[14)]

みだし，あるいは剥離が始まる時に合致しているようである。また，ポストピーク挙動については，ケース 3 の方が，残存する履歴吸収エネルギーの絶対量は大きいものの，その低下についてはさほど大きな差は見られない。

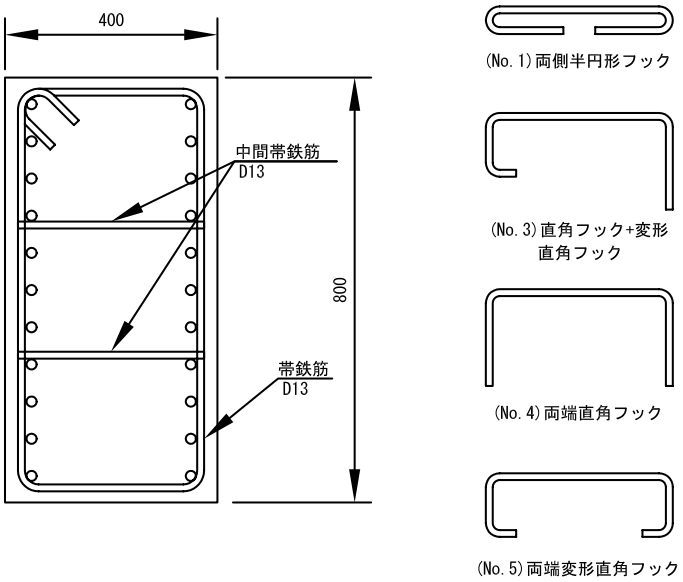
#### 4) ひずみ性状

各供試体の帯鉄筋，中間帯鉄筋のひずみ分布も測定されている。いずれの場合も，かぶりコンクリートのはらみ出し，剥落が確認された後に，ひずみが急増する傾向が確認されている。これは，軸方向鉄筋が大きく座屈する段階までは，帯鉄筋及び中間帯鉄筋はさほど効いていないと考えることができる。

### (3) 既往の実験–幸左らの研究[12)]

幸左らは，橋脚等の構造物に用いる中間帯鉄筋の施工簡略化を目的として，壁状部材の中間帯鉄筋のフック形状の違いによる変形性能評価を行うため，いくつかの中間帯鉄筋端部のフック形状について，1.0 N/mm$^2$ の軸応力 (0.03$\sigma_{ck}$ 程度，ここに $\sigma_{ck}$ はコンクリートの一軸圧縮強度) を与えた水平方向正負交番載荷実験を行っている。

実験は壁式橋脚を想定し，供試体は柱断面が 400 mm × 800 mm で，帯鉄筋は D13 (SD345) を 150 mm 間隔で配置し，中間帯鉄筋は同材質，同径の鉄筋を 2 本配置する。中間帯鉄筋の端部フック形状は，評価の基準となる両側半円形フックと，施工性の向上を期待できる両側直角フック，この研究で提案する変形直角フックを用いた 4 種類である。断面図及び中間帯鉄筋端部のフック形状を**図**–3.9 に示す。また，実験供試体の配筋概要を**表**–3.3 に示す。なお，フックの曲げ内半径は道路橋示方書[1)]に準じて加工されたものである。変形直角フックは，フック部分の定着長の合計が，道路橋示方書[1)]に規定される直角フックの定着長に等しくなるよう加工されたものである。




**図**–3.9 供試体の柱部断面と中間帯鉄筋形状[12)]

**表**–3.3 供試体の配筋[12)]

| | No. 1 | No. 3 | No. 4 | No. 5 |
|---|---|---|---|---|
| 軸方向鉄筋 | D19×22 | D19×22 | D19×22 | D19×22 |
| 軸方向鉄筋比 (%) | 1.13 | 1.13 | 1.13 | 1.13 |
| 帯鉄筋 | D13@150 | D13@150 | D13@150 | D13@150 |
| 横拘束筋体積比 (%) | 1.30 | 1.30 | 1.30 | 1.30 |
| 帯鉄筋比 (%) | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| 中間帯鉄筋の<br>フック形状 | 両側半円形<br>フック | 直角＋変形<br>直角フック | 両端直角<br>フック | 両端変形<br>直角フック |

実験における載荷は，実構造物の死荷重を想定して 1.0 N/mm$^2$ 相当 ($0.03\sigma_{ck}$ 程度) の一定軸力を供試体上面に載荷し，水平方向の載荷重は，コンクリート及び鉄筋の呼び強度を用いて降伏荷重を道路橋示方書 耐震設計編にしたがい計算し，その時の降伏変位 $1\delta_y$ を基準変位量として，その整数倍を載荷ステップとして行った。載荷荷重が最大荷重の 0.4 倍を下回った時点を最終破壊時として試験を終了している。なお，各載荷ステップの繰り返し回数は 1 回である。

**1) 損傷の推移**

ここでは，中間帯鉄筋の端部フック形状について，半円形フックと直角フックである場合を比較するため，No.1 と No.4 の実験結果に着目した。

No.1 では，降伏変位 $1\delta_y$ で柱基部に曲げひび割れが発生し，変位の増加と共にひび割れ幅，本数が増加した。側面のかぶりコンクリートは $6\delta_y$ の時に剥離，剥落し，$7\delta_y$ では，コアコンクリートが破損，軸方向鉄筋の座屈が確認できるようになった。その後，コンクリート及び軸方向鉄筋の損傷が進展し，載荷を終了している。

No.4 では，曲げひび割れ発生後，$5\delta_y$ になると中間帯鉄筋の片側の直角フックが開きだし，それに伴い，かぶりコンクリートのはらみだしが確認された。その後，他方の直角フックの開きだしがあり，かぶりコンクリートの剥離，剥落が確認され，No.1 と同様にコアコンクリート，軸方向鉄筋の損傷が顕著となり載荷を終了している。

#### 2) 変形性能の比較

No.1 及び No.4 の各供試体について，載荷試験による荷重変位曲線を比較すると，No.1 では，最大耐力に到達後，$6\delta_y$ まで耐力を保持し，かぶりコンクリートの剥離，剥落とともに荷重が低下している。No.4 では，最大耐力到達後，$5\delta_y$ まで耐力を保持し，かぶりコンクリートの剥離，剥落に伴い，耐力が低下している。

また，水平荷重が降伏荷重まで低下した時点を終局と仮定し，No.1 と No.4 供試体のポストピーク挙動を比較すると，終局以降の耐力の低下に若干の違いがみられ，No.1 の場合はいくぶん低下が緩やかになっているようである。

#### 3) エネルギー吸収性能

幸左らは，各供試体の載荷試験による履歴吸収エネルギーについても評価を行っている。これによると，履歴吸収エネルギーの増加勾配は，どの供試体もほとんど変わらず，No.1 及び No.4 供試体では，履歴吸収エネルギーのピーク値にもほとんど差は見られていない。また，終局時における履歴吸収エネルギーにも差は認められないようである。ただし，ピーク値に関しては，No.4 供試体は終局時の値がピークに近くなっており，終局後はエネルギー吸収性能が低下する一方で，No.1 供試体は，終局後もエネルギー値が増加しており，終局後にも大きなエネルギー吸収性能を有することが確認された。

#### 4) 低軸力下における柱の中間帯鉄筋フック形状の違い

前述の土研資料第 3563 号[14]では，柱断面 1200 × 600 mm に対して，72 tf の軸方向圧縮力 (≒1.0 N/mm$^2$) を与えて交番載荷実験を行っている。また，幸左ら[12]は，土研資料第 3563 号[14]と同様に，載荷軸力 1.0 N/mm$^2$ における柱部材の変形性能を評価している。これらの実験結果から，低軸力下 (1.0N/mm$^2$ 程度) においては，塑性率や終局変位以降の挙動についてはフック形状の違いに差はあるが，それ以前の挙動に着目すると，変形性能に関して半円形フックと直角フックではほとんど差がないものと考えられる。

### (4) 高軸力下における柱の中間帯鉄筋のフック形状の違い

Lukkunaprasit らは，$0.3\sigma_{ck}$ ($\sigma_{ck}$ =35.7～38.9 N/mm$^2$) の高軸力条件で，柱の中間帯鉄筋に 90 °フックと 135 °フックを用いた交番載荷実験を行っている[15]。中間帯鉄筋のフック形状の違いのみに着目すると，90 °フックを用いた供試体は，135 °フックを用いた供試体に比較して変形性能が

小さくなる傾向を示す。高軸力下においては，中間帯鉄筋のフック形状の違いが柱の変形性能に及ぼす影響は小さくない。

#### (5) 考察

レベル 2 地震時において塑性化を考慮する部材では，設計上，終局状態における内部コンクリートの横拘束効果を考慮して耐力および水平変位を算出する。これらは，部材の終局までの耐力を実験等により評価したものである。

土研資料 3563 号[14]，幸左ら[12]の実験結果から，終局に至る大きな荷重が作用した場合においても，中間帯鉄筋の端部定着形状に半円形フックを用いた供試体は，高いじん性を有し，変形性能も大きいと考えられる。さらに，ピークを迎えたあとの耐力低下の過程が緩やかであることから，信頼性は高い。しかしながら，中間帯鉄筋の端部形状が直角フックであったとしても，終局耐力に至る過程においては，コアコンクリートの拘束，軸方向鉄筋の座屈防止といった点においても，その性能に半円形フックとの差は小さく，かぶりコンクリートの破壊を考慮する程の大きな変形に至らない限りは，十分に中間帯鉄筋としての要求性能を満足することが可能であると考えられる。

しかし，中間帯鉄筋に半円形フックを用いた場合と直角フックを用いた場合とで，終局変位レベルの違いの他，終局後に残存する履歴吸収エネルギーを比較すると，半円形フックを用いた場合の終局後の履歴吸収エネルギーの方が高く，その低下も緩やかであることが報告されている。このような部材が終局に達した後の耐力の低下や履歴吸収エネルギーの違いのような，終局以降の冗長性の違いをどのように設計で評価するか，またはそもそも評価する必要があるか否かということは，さまざまな意見があり，明確に出来ないのが現状である。本資料では，この課題については安全側に考えるものとし，終局以降の耐力低下の違いを考慮することを前提に考察を進める。

### 3.4.2 フック形状の違いがせん断耐力に及ぼす影響

中間帯鉄筋およびスターラップの端部定着フックの形状の違いがせん断耐力に及ぼす影響について既往の研究を調査した。

#### (1) 定着部のないせん断補強筋が有するせん断耐力

塩屋らは，定着体を用いたせん断補強筋の技術開発を目的とした実験的研究の一つとして，せん断補強筋の端部形状を変えて，それぞれに対してせん断試験を行っている[16]。ここでは，せん断補強筋の端部形状として，道路橋示方書に標準フックとして示される 180 °フック，定着体，定着端なし，せん断補強筋なしの 4 つを対象にせん断実験を行った。実験の結果，せん断補強筋の端部定着がなくても，180 °フックで定着したせん断補強筋に対して，90%程度のせん断耐力を発揮している。ただし，定着端がないようなせん断補強筋の形状では，最大耐力以降は脆性的な破壊する。

また，近年問題となっているコンクリートのアルカリ骨材反応に関して，コンクリート内部膨張が鉄筋折曲部の破断による定着不良の影響を評価するため，曲げ加工部で破断したせん断補強筋の影響について多数の実験的研究が行われている。中村らの実験[17)]を例に挙げると，はりの軸方向鉄筋を取り囲むようなせん断補強筋を健全な状態として，圧縮側の曲げ加工部で破断したケース，引張側の曲げ加工部で破断したケースを想定して曲げせん断試験を行った結果，定着部のないはりは，健全な場合に比べて最大せん断耐力が 80 %程度にまで低下することが確認されている。

以上より，定着部のないせん断補強筋でも，ある程度のせん断補強効果が見込めるものの，その耐力は一般的なせん断補強筋に比較して低めに評価する必要があると考えられる。

### (2) Ramirez らの研究[18)]

海外では，Ramirez らが，様々なスターラップ形状を配置したはりに対して曲げせん断実験を行っている[18)]。

ここでは，スターラップの定着方法を 135 °フック，90 °フック，定着なし等として，はりの圧縮域で定着した場合，引張域で定着した場合，両方で定着した場合等，12 ケースを設定して曲げせん断試験が行われた。試験の結果，スターラップの定着は，引張側への定着がクリティカルとなっており，載荷の進行にしたがい，せん断ひび割れが生じた位置において，スターラップ鉄筋が降伏ひずみに達すると共に，引張部のかぶりコンクリートにクラックが入り，定着端部が抜け出す等の現象が確認されている。また，スターラップが引張鉄筋を取り囲み，圧縮鉄筋側で 135 °フックによりコンクリート内部に定着させる形状とした場合は，高応力下においてもスターラップはせん断補強筋として十分に機能しているようである。

### (3) 直角フックを有するせん断補強筋のせん断耐力

田中ら[19)]は，せん断補強筋の直角フックの定着性能及びせん断耐力に与える影響について実験的研究を行っている。この研究では，直角フックの定着長さの違いが性能に及ぼす影響に着目されているが，ここでは現行の道路橋示方書[1)]に示される標準的な形状の直角フックのみに着目する。

まず，コンクリート中に埋め込まれた直角フックの引抜き試験を実施して，定着性能を確認している。載荷は静的載荷および高応力繰返し載荷の 2 種類の載荷である。静的載荷による引抜き試験で得られた最大荷重は，鉄筋の規格降伏荷重および設計計算より求まる最大荷重を越えており，鉄筋の抜出しの前に降伏が生じたものと考えられる。

また，せん断耐力確認実験では，設計せん断耐力に対して 1.45 倍程度のせん断耐力を有しており，90 °フックを有するせん断補強筋のひずみは，せん断ひび割れが生じている部分にて，引張試験から求まる鉄筋の降伏ひずみを越えていた。

このことから，道路橋示方書[1)]の標準フックを用いたせん断補強筋は，想定される応力状態において，せん断補強効果を発揮することができるものと考えられる。

#### (4) 考察

中間帯鉄筋およびスターラップの端部定着フックの形状の違いについては，次のように考えることができる。

端部定着フックがない場合でも，ある程度のせん断補強効果が期待できる。ただし，フックがない場合には，最大耐力以降は脆性的な破壊を示すため，その適用については，さらなる検討が必要である。

端部定着フックが 90 °の場合，田中らの曲げせん断試験の結果[19]では，少ないサンプル数ではあるが，せん断補強筋が降伏に至るまで，せん断補強効果を発揮しており，設計計算で期待するせん断耐力を有していると考えられる。

Ramirez らの実験[18]では，かぶりコンクリートの剥落と共にせん断補強筋の定着フックが開きだす挙動が確認されていることから，軸方向鉄筋が降伏を許容するような塑性化を考慮する部位においては，塑性化状態において，せん断補強筋の効果が期待できない可能性がある。このような場合，脆性的な破壊に至ることが考えられるため，90 °フックを有するせん断補強筋の使用は，せん断破壊の観点からも適切でない。

それ以外の部位，はりやフーチング等の塑性化を考慮しない部位では，部材が降伏に至らないように設計されることを考慮すると，中間帯鉄筋およびスターラップの端部定着フックの形状が 90 °フックであっても，設計計算で期待するせん断耐力を発揮できるものと考えることができる。

## 3.5 定着体付き鉄筋の適用性の検討

### 3.5.1 フックおよび定着体付き鉄筋の耐荷機構

鉄筋端部にフックを付けて定着する方法と定着体を付けて定着する方法では，鉄筋に作用する軸応力に対しての耐荷機構が異なる。したがって，定着体付き鉄筋の実構造物への適用性を判断するためには，まず，耐荷のメカニズムを明らかにしておく必要がある。**表**–3.4 は，標準フックと定着体付き鉄筋の定着部における違いを比較したものである。

### 3.5.2 定着体付き鉄筋の性能評価方法

定着体付き鉄筋を適用するためには，その耐荷メカニズム・破壊モードを反映できるような設計手法を確立するか，あるいは実験等によりその性能を評価しておく必要がある。公的機関における技術審査証明を取得している定着体付き鉄筋の適用も，実験により，実験を行った範囲内での適用性が確認されたものである。したがって，設計手法の確立は今後の課題とするものとし，現時点では，当該定着方法の耐荷機構を明らかにした上で，引張力に対する鉄筋の定着が，従来のフックを用いた場合と同等以上であることを確認するとともに，それを適用する構造部位の部材実験を行い，想定される応力履歴等に対して，定着体付き鉄筋を適用した構造部材が，端部に標

**表**–3.4 標準フックと定着体付き鉄筋の定着部における耐荷機構の違い

| | 標準フック | 定着体付き鉄筋 |
|---|---|---|
| 定着方法 | 鉄筋端部の曲げ加工によってフックを付け，コンクリート中に埋込む | 鉄筋端部へ機械的に定着体を取付け，コンクリート中に埋め込む |
| 耐荷メカニズム | 鉄筋に作用する引張力に対して，フックがコンクリートに拘束（付着）されることで抵抗 | 鉄筋に作用する引張力に対して，定着体がコンクリートへ応力を伝達することにより抵抗 |
| 耐荷力の発揮に必要なコンクリートの状態 | 直角フックは，かぶりコンクリートが健全であることを前提に耐荷力を発揮，鋭角・半円形フックは，フック定着部分のコンクリートが健全であることを前提に耐荷力を発揮 | 定着体からの支圧力を受けるコンクリートが健全であることを前提に耐荷力を発揮する |

準フックを有する従来形状の鉄筋を適用した構造部材と同等以上の性能を有していることを確認し，定着体付き鉄筋の適用範囲を設定するのが適切であろう。以下に，定着体付き鉄筋について，確認しておくべき単体および部材としての性能を示す。

### (1) 定着体の接合部における機械的性能

定着体の母材への接合部の強度が鉄筋母材の強度以下であったり，接合部において過大なすべりが生じると，十分な定着性能を期待できない。したがって，定着体の接合部における引張試験によりこれらを確認する必要がある。

### (2) 中間帯鉄筋，せん断補強筋の定着部に適用する場合の性能

中間帯鉄筋，せん断補強筋の定着部には，必要なせん断耐力を発揮するための定着性能を有しており，かつ塑性化を考慮する部位に適用する場合には，かぶりコンクリートが剥離した状態でも中間帯鉄筋，せん断補強筋が軸方向鉄筋の座屈を防ぎ，内部コンクリートを拘束することによってじん性を確保することが求められる。

したがって，定着体付き鉄筋の定着部における強度とすべり抵抗，部材のせん断補強効果，変形性能を確認する必要がある。これらの確認方法は，コンクリートと定着部を含む鉄筋を一体化した供試体を用いて行うが，コンクリートの強度が実験結果に影響することも考えられるため，適用対象となる部材の設計基準強度から大きく乖離することがないよう注意する必要がある。

### 1) 定着体付き鉄筋単体の性能

(i) 定着耐力

供試体を用いた引張試験により，定着部が鉄筋の最大耐力以上の定着強度を有していることを確認する。また，すべり量について，従来のフックと同等以上の性能を有していることを確認する。ここで，従来のフックとは，特に断りのない限り半円形フックを指すものとする。引張試験は，かぶりコンクリートがない状態で，設計上必要な定着長の付着力に期待しないように供試体を作成し，性能を確認するのが良い。また，地震時のように大きな繰返し荷重に対しては，定着部の抜け出しが顕著になる可能性があるため，高応力繰返し荷重に対するすべり量を評価する必要がある。繰返し荷重の与え方等の試験方法は，これまでの研究や土木学会の鉄筋定着・継手指針[4)]を参考にするのがよい。

(ii) その他性能

定着体付き鉄筋の適用箇所に想定される応力等の条件により，定着体の単体性能について，上記以外の性能が要求される場合は，必要に応じて適切な試験を行う必要がある。

### 2) 定着体付き鉄筋を用いた部材の性能

(i) せん断補強効果

定着体付き鉄筋を用いた部材の曲げせん断試験を行い，従来のフックと同等以上のせん断耐力を有していることを確認する。このとき，部材がせん断破壊するように供試体を設計し，評価対象となる鉄筋母材が降伏することを確認した上でその性能を評価するものとする。

(ii) 拘束効果

地震時において，中間帯鉄筋，せん断補強筋は，軸方向鉄筋のはらみだしを防ぎ，内部コンクリートを拘束する役割を担う。したがって，定着体付き鉄筋の性能評価には，せん断補強筋，中間帯鉄筋として使用する部位の正負交番載荷試験を行い，その拘束効果を評価し，半円形フックを用いた部材と同等以上のじん性を有しているかを確認する必要がある。ここで，土木学会の鉄筋継手・定着指針[4)]等を参考にして，以下に示すように，部材実験に関する実験項目と着目点を整理した。また，部材の実験方法や結果の評価方法については，土研資料第 4023 号[20)]等が参考になる。

- **継手部における耐荷機構の明確化：**
  - 定着部がかぶりコンクリートなのか，内部コンクリートなのか，耐荷のメカニズムを明確にする
- **性能検証：**

(a) 要素試験

- 新材料の場合：素材の基本特性 (応力－変位関係，剛性，破断特性，繰り返し載荷特性等)

(b) 部材試験

- せん断補強効果：部材としての試験で検証する → 部材の曲げせん断試験
- 拘束効果：部材としての試験で検証する

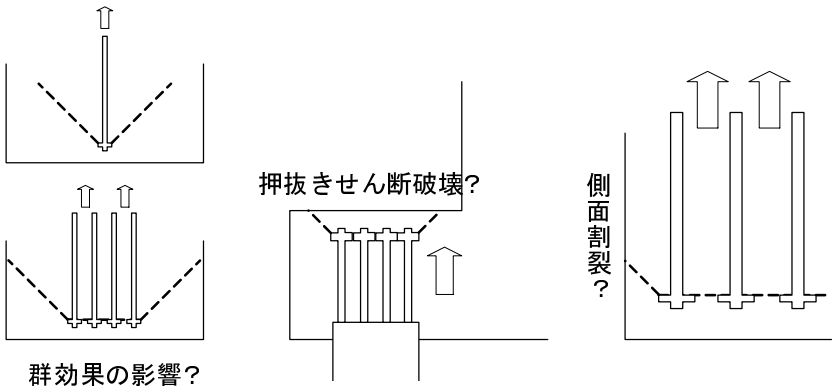
上記以外に，部材の疲労性や，ねじりせん断の影響を考慮する必要がある場合は，別途，その影響を考慮できるように適切な試験を行い，これを評価しなければならない。そして，拘束効果に関する実験項目と着目点を以下に示す。

- **実験条件：**
  - 土研資料第 4023 号[20]等を参考に，正負交番載荷実験により検証を行うこと
  - 繰返し載荷は，降伏荷重時の変位量 $\delta_y$ を基準変位とするが，$0.25 \cdot 0.5 \cdot 0.75\delta_y$ などの降伏荷重時の変位量以下の載荷も行い，常時，レベル 1 地震時までの荷重に対するコンクリートのひび割れ等の破壊状況を評価できるように観察を行うこと，また，基準変位以降は，レベル 2 地震，それ以上の大きな荷重も評価できるように載荷すること
  - 適用する構造物の軸応力に相当する，もしくはそれ以上の軸応力を作用させること
  - 性能検証実験の際に，載荷実験装置等の制約により縮小模型での実験となる場合には，実構造物の構造特性が適切に反映できるように実験供試体を設計すること
    - この際，相似則に基づいて構造諸元を設計すること
    - 相似則に基づく諸元と顕著に異なる諸元を選択せざるを得ない場合には，その影響について十分に検討し，必要に応じて実験結果の補正を行うこと
- **結果の評価：**
  - 実験等により検証された範囲等，適用範囲を明確にすること
  - 変形性能を一般の RC 構造と比較・評価する際には，構造物の寸法等を考慮して適切な変位量で評価すること
  - 一般の RC 構造との比較においては，1) 破壊形態，2) 終局後の粘り強さ (脆弱さ) に着目して性能を比較すること，また，3) 部材の破壊形態から補修方法の相違が生じるかという点にも着目すること
  - 適用にあたっての前提条件となる鉄筋比やかぶり等の構造細目を明確にしておくこと
  - 定着部の耐荷機構を明らかにすること
  - 従来と材料や構造が異なる新技術で，従来の構造との比較によりその性能を検証できない構造の場合には，設計式，適用範囲 (実験等により検証された範囲)，構造細目 (構造の前提条件) が用意されていること

### (3) 軸方向鉄筋の定着部に適用する場合の性能

建築分野では，梁と柱の接合部における過密配筋の軽減，施工性向上のため，軸方向鉄筋に定着体付きの鉄筋を採用する場合が多い。橋梁下部構造においても，定着体付き鉄筋の軸方向鉄筋への適用により，過密配筋の軽減及び施工性の向上等が期待される。適用が考えられる部位とし

ては，中間梁を有するラーメン橋脚の梁・柱鉄筋の接合部や，柱の軸方向鉄筋の端部定着，杭頭補強筋の端部定着部などが考えられる。しかし，このような定着部には，せん断補強筋，中間帯鉄筋へ適用する場合とは異なる性能が求められるため，その適用性の判断としては，適用箇所の条件に応じた実験等により個別に確認する必要がある。特に，大きな応力が作用した場合の破壊形態に着目する必要がある。例えば，大きな応力が作用した場合には，**図**–3.10 に示すような，軸方向鉄筋に定着体を用いる場合，鉄筋同士が近接することによって 1 本当たりの定着耐力が低下する可能性 (群効果の影響) や，杭頭部へ適用する場合には，引抜き力だけでなく押込み力の影響による押抜き破壊の可能性などが考えられる。また，定着部の破壊形態として，コーン状破壊以外に，部材の側面付近などの適用部位では，定着体の支圧力を受けるコンクリート面積や鉄筋の有無により，コンクリート側面に支圧 (割裂) 破壊が生じる可能性がある。なお，ここにあげた破壊形態が全てではなく，応力状態に応じた破壊形態を想定して，安全性を確認しなければならない。




**図**–3.10 軸方向鉄筋端部への定着体の適用で想定される破壊形態

従来の軸方向鉄筋の定着方法は，このような破壊形態に対して，構造細目の規定が安全余裕を担保してきたものであり，その部位の定着方法として，新たに定着体を適用しようとする場合には，あらかじめ載荷実験を行うことにより，想定される大きな応力が生じた場合でも，このような破壊モードが先行しないことを確認するのが適切である。

したがって，軸方向鉄筋端部の定着としての適用性の判断にあたっては，部材の接合部が弱点とならないために必要な定着体の単体性能を評価するだけでなく，部材に関する性能確認試験を行い，定着体の群効果の影響や，部材の強度および変形性能等に与える影響について評価することを基本とする。

### 1) 定着体の単体性能

(i) 定着強度

供試体を用いた引張試験により定着部が鉄筋の最大強度以上の定着強度を有していることを確認する。また，すべり量 (すべりにくさ) についても，従来のフックと同等以上の性能

を有していることを確認する。軸方向鉄筋を定着させる場合は，コンクリート内に埋め込まれた状態で，フックや定着体による定着部のみの定着強度を評価するため，定着部以外のコンクリートとの接触部をアンボンドとし，この区間の付着の影響を除去して試験を行う。また，地震時に想定されるような大きな繰返し荷重に対しては，定着部の抜け出しが顕著になる可能性があるため，高応力繰返し荷重に対するすべり量を評価する必要がある。

(ii) その他性能

定着体付き鉄筋の適用箇所に想定される応力等の条件により，定着体の単体性能について，上記以外の性能が要求される場合は，必要に応じて適切な試験を行う必要がある。

#### 2) 定着体付き鉄筋を用いた部材の性能

定着体付き鉄筋を軸方向鉄筋の定着部に用いた場合の部材の性能は，当該部材単体のみならず，その部材が接合され，鉄筋が定着される側まで考慮して初めて検討可能になる。したがって，その性能は構造物の種類や形状によって様々であり，応力状態や破壊形態もそれぞれ異なることが考えられるため一概にこれを規定することは難しい。このため，軸力も含めた接合部の荷重状態も考慮した上で，定着体付き鉄筋の適用部位を模した供試体の水平交番載荷により検証する。この時，破壊形態や定着体付き鉄筋の定着性能および定着長の影響，部材間接合部のせん断耐力等について，通常の定着方法を用いた部材の正負交番載荷と比較することによって評価する。交番載荷試験では，柱とフーチング，はりと柱，杭頭部とフーチング等の定着体付き鉄筋を用いる接合部を模した供試体を作成し，実構造物の軸力の大きさ，軸力変動の影響等を考慮できるように荷重条件を設定して行うものとする。正負交番載荷試験にあたっては，主に以下の点に着目する。

(i) 定着耐力

定着体付き鉄筋を用いた定着部の部材と通常の定着による部材の曲げ試験を行い，鉄筋の降伏以前に定着部が抜け出す等の現象が生じないことを確認する。また，定着部の抜け出し量等の性能についても，通常の定着方法と同等以上であることを確認する。

(ii) 部材の耐力および変形性能の担保

定着体付き鉄筋を用いることにより，柱やはりの曲げ耐力や変形性能等が低下する等の危険側の評価になることは避けなければならない。したがって，部材の正負交番載荷により，定着体付き鉄筋の使用が与える影響に着目し，部材の終局に至るまで，従来の定着方法と同様の曲げ耐力および変形性能を担保することが可能であることを確認しなければならない。

### 3.5.3 中間帯鉄筋，せん断補強筋への適用

#### (1) 適用性の判断における留意点

ここでは，一般的な条件下において適用性を判断する際の留意点を示す。

1) **せん断補強効果**

中間帯鉄筋，せん断補強筋は，部材が確実なせん断耐力を発揮するために配置される。せん断補強効果は，定着体単体の試験では確認することができないので，供試体を用いたせん断試験を用いて確認しておくべきである。したがって，定着体付き鉄筋の選定に関しては，せん断補強効果を試験により確認するか，あるいはその効果が確実であることが明らかなものを選定しなければならない。ここで，試験により確認する場合は，せん断スパン比やせん断補強鉄筋のせん断耐力分担率等の条件に着目して，適用しようとする箇所の条件がその範囲内にあることを前提とする必要がある。試験結果は，コンクリートのせん断耐力評価式で評価し，従来のフックと同様に適切に設計できることを確認する。

2) **軸力の大小が拘束効果に及ぼす影響の考慮**

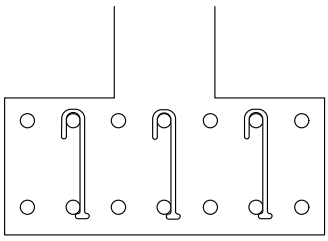
定着体付き鉄筋を適用する部材の性能の確認項目および留意点については，**3.5.2** に示したとおりである。部材の拘束効果の確認については，柱部材の正負交番載荷試験により確認されているが，軸力の大小が変形性能に与える影響が大きいので，適用対象となる構造物に作用する軸力がどの程度かを把握して適用性を判定する必要がある。特に，ラーメン橋脚等は，地震時における軸力の変動が大きいので十分に配慮しなければならない。

3) **耐荷機構からみた適用性**

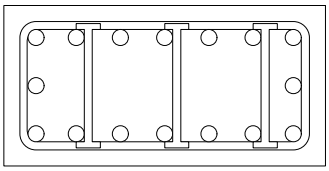
定着体付きの鉄筋は，その端部の拡径部や定着体がコンクリートに支圧力を伝達することで定着性能を発揮する。定着体付き鉄筋はこのような耐荷機構を有していることから，柱の帯鉄筋やはりの最外周に配置するスターラップ鉄筋として用いることは適切でない。

4) **適用が考えられる部位**

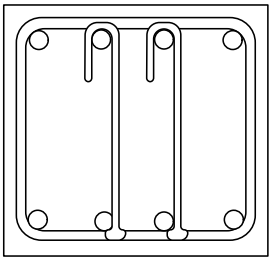
上記のような適用性に関する事項を考慮して，定着体付き鉄筋の性能がこれを満足するという前提のもと，適用可能と考えられる箇所は，通常の下部構造におけるフーチングのスターラップ鉄筋として用いる場合や，柱・壁構造の中間帯鉄筋としての適用，はりの最外周以外のスターラップへの適用が考えられる。これを**図**–3.11 に示す。



**適用例** 1 フーチングスターラップへの適用



**適用例** 2 壁・柱の中間帯鉄筋への適用



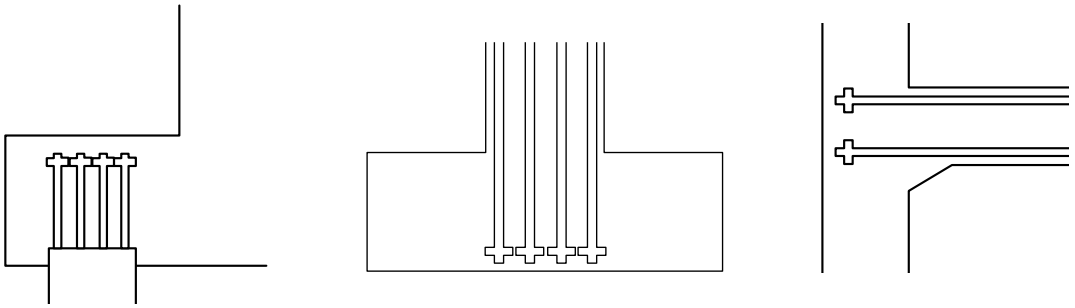
**適用例** 3 はりのスターラップへの適用

**図**–3.11 定着体付き鉄筋の中間帯鉄筋，せん断補強筋への適用例

### 3.5.4　軸方向鉄筋の定着部への適用

#### (1)　適用が考えられる部位

軸方向鉄筋の定着部への適用性については，部材に想定される荷重状態に応じた載荷試験によりその適用性を確認するのが望ましい。定着体つき鉄筋が適用可能と考えられる箇所としては，**図**–3.12 に示すような例が考えられる。定着体つき鉄筋の使用目的は，適用箇所によって異なり，定着長を低減させる目的であったり，施工性を改善する目的であるなど，様々である。定着体の適用により引張鉄筋の定着長を低減する場合には，その低減量に留意する必要がある。



**適用例** 1 杭頭補強鉄筋への適用

**適用例** 2 壁・柱とフーチングの接合部への適用

**適用例** 3 ラーメン橋脚の中間梁と柱の接合部への適用

**図**–3.12 定着体付き鉄筋の軸方向鉄筋への適用例

#### (2)　適用性の判断における留意点

##### 1)　軸方向鉄筋端部の定着に関する一般的な留意点

通常，鉄筋端部の定着性能として，引張力に対する引抜き抵抗力が求められる。圧縮側の定着力に関しては，標準フックにおいてもその性能がよく分かっていないので，地震時に軸力の影響を受け，押抜きせん断のような破壊モードが想定される場合には，事前にこの影響について評価しておく必要がある。

また，軸方向鉄筋をフーチング等のマッシブなコンクリートに定着できる場合であっても，軸方向鉄筋に高強度鉄筋を用いると，コンクリートとの付着切れが先行することが考えられるため，必要な定着長を確保する，コンクリート強度を上げる等により定着耐力も大きくしておく必要がある。このため，材料強度の組合せにも留意して，適用性を判断しなければならない。

##### 2)　軸方向鉄筋端部の定着に定着体を適用する場合の留意点

軸方向鉄筋に定着体を取り付けてコンクリート内に埋込む場合，鉄筋とコンクリートとの付着に頼る定着耐力に比べて大きな定着耐力が期待できるため，定着長の低減効果を期待することができる。標準フックを使用した場合と同等以上の定着性能がある場合には，引張鉄筋において標

準フックを用いた場合の定着長を用いる (フックを用いない場合の定着長の 2/3 以上) とする方法が考えられる。

また，継手等，鉄筋の定着に限った話ではないが，継手部や柱梁の接合部等で，定着部周囲のコンクリートが少ない場合には，コンクリートが鉄筋の配置に沿って割裂破壊する可能性もある。このような破壊形態は，定着体単体としての定着性能を確認するだけでは評価することができないので，適用箇所の条件に応じた部材実験を行うなど，評価には十分な注意が必要である。

### (3) 軸方向鉄筋の定着部への適用における提案

軸方向鉄筋の端部定着方法は，1) 鉄筋をまっすぐ伸ばしてコンクリートの付着力により定着する，2) 鉄筋端部にフックを設けてコンクリートの付着力及びフックによる鉄筋の抜出し抵抗力により定着する，3) 鉄筋端部に定着体を取り付けて定着体の支圧抵抗力により定着する方法がある。ここで，適用する部位に適切な性能を有することが確認された定着体を取り付ける場合は，1) の代わりに適用される場合には，定着長の低減効果，2) に代わるものとして設置される場合には，フックの省略による施工性改善効果，が期待されるものとなる。

ここでは，定着体を取り付けた場合に着目して，**図**–3.12 に示した適用が考えられる事例を対象に，その適用に関する原則について提案する。

#### 1) 杭頭補強筋の端部への適用

**図**–3.12 の**適用例** 1 は，道路橋示方書の杭とフーチングの結合部の構造細目に解説される，方法 B の場合に適用される場合を想定したものである。道路橋示方書では，補強鉄筋のフーチング内への定着長は，フーチング下側主鉄筋の中心位置から $L_0 + 10d$ ($L_0$ は鉄筋の必要定着長で $\geq 35d$，$d$ は補強鉄筋の直径) を確保するよう解説されている。ここで，$10d$ は地震時の繰返し載荷の影響で付着が切れてしまうことを想定した余裕長であり，この長さを低減させることはできない。したがって，当該部位において，標準フックと同等に定着長の低減を期待できる定着体を用いて鉄筋を定着させる場合には，必要定着長の $L_0$ の長さを低減することが可能であると考えられる。

#### 2) マッシブなコンクリートとの接合部への適用

**図**–3.12 の**適用例** 2 は，柱又は壁とフーチングの接合部で，道路橋示方書では，この部分における柱又は軸方向鉄筋は，柱又は壁に生じる断面力がフーチングに十分伝達される長さだけのばし，フックをつけて定着すると規定されている。柱や壁の基部などは，特に地震時などに大きな応力を受けることが想定され，定着長を安易に低減させることによって，定着部の抜け出し等の損傷が部材の耐力や変形性能に影響する可能性がある。この範囲において端部にフックや定着体を用いても定着長の低減は期待できないものと考えるのが適切である。なお，施工性の向上等を目的として，この部位で定着体つき鉄筋の適用性を評価する場合には，特に，地震時を想定した荷重に対する部材の耐力および変形性能に着目して判断する必要がある。

3) **断面の小さな部位との接合部への適用**

**図**–3.12 の**適用例** 3 は，ラーメン橋脚における柱と梁の接合部などを想定するものであるが，このような部位では，小さな断面内に柱・はりの鉄筋が多数配置されることが多く，鉄筋配置の施工性やコンクリートの充填性が懸念される。この場合，定着体つき鉄筋は，定着長を低減させるのではなく，フックを省略することによる施工性の向上，コンクリートの充填性向上による良好な品質確保が主な目的となる。適用性の判断としては，大きな応力が作用する場合に，**図**–3.10 に示すような割裂破壊等が想定されるため，十分な補強やコンクリート強度あるいは断面の確保等の対応が必要となる。なお，建築分野では，このような接合部における定着体を用いた機械式定着に関する研究が多数行われており，指針[21)]も整備されている。これらも参考に土木構造物への適用性についても今後の検討が望まれる。

## 3.6 中間補強筋およびせん断補強筋の端部定着方法に関する提案

### 3.6.1 端部定着方法の適用

既往の実験等から得られた知見や考え方を整理して，中間帯鉄筋およびせん断補強筋の端部定着構造種別毎に構造部位への適用の可否を示したものが**表**–3.5 及び**表**–3.6 である。ここで，塑性化を考慮する部材において両端直角フックを「×：適用不可」としたのは次の理由による。前述したように，幸左らの実験[12)]によれば，低軸力レベル (1.0 N/mm$^2$) の条件下においては，交番水平載荷試験における終局変位までは，両端直角フックは両端半円形フックと同等の性能を有する

**表**–3.5 中間帯鉄筋，せん断補強筋の端部定着構造別による適用分類 (案)

| 耐震設計上の分類 | 構造部位 | 半円形フック | 直角フック | 定着体タイプ |
|---|---|---|---|---|
| 塑性化を考慮する部材 | 橋脚柱（塑性化を考慮する領域） | ◎ | × | ○ *1 |
| | ラーメン橋脚の柱，はりの塑性ヒンジ長の 4 倍区間 | ◎ | × | ○ *1 |
| 塑性化を考慮しない部材 | 橋脚柱 | ◎ | ○ *2 | ○ *2 |
| | ラーメン橋脚柱 | ◎ | ○ *2 | ○ *2 |
| | 橋台パラペット | ○ | ◎ | ○ *3 |
| | はり | ○ | ◎ | ○ *3 |
| | フーチング | ○ | ◎ | ○ *3 |

◎：推奨する定着方法，○：適用可能な定着方法，×：適用不可

ここに，

＊1： かぶりコンクリートの有無が耐荷機構に影響がなく，かつ当該部位において通常軸力下および高軸力下で柱の繰返し曲げ載荷試験を実施し，ポストピーク挙動も含めて半円形フックと同等以上の性能が確認できた場合

＊2： 低軸力レベル (1.0 N/mm$^2$) であることが前提条件

＊3： 曲げせん断試験を実施し，半円形フックと同等以上の性能が確認できた場合

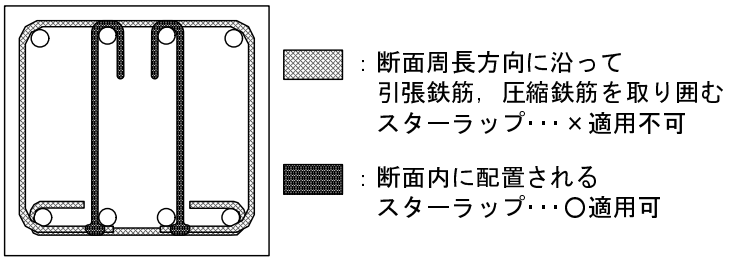
ことが確認されている。しかし，その性能を検証した事例は少なく，様々な条件に対して適用できるかということを確約できないことや，ポストピーク挙動が異なることも考慮して，塑性化を考慮する部材においては適用不可とした。

**表**–3.6 定着体を用いた中間帯鉄筋およびせん断補強筋の適用範囲

| 配置方向 | 対象部材 | 適用範囲 | 適用外範囲 |
|---|---|---|---|
| 水平方向に配置 | 柱 | ・断面内部を横切る中間帯鉄筋として適用可能 | ・断面周長方向に沿って軸方向鉄筋を取り囲んで配置する横拘束筋 (帯鉄筋) としての適用は出来ない |
| | 壁 | | |
| | パラペット | | |
| 鉛直方向に配置 | はり | ・断面内部を横切るスターラップとして適用可能 | ・断面周長方向に沿って引張鉄筋全体を取り囲んで配置するスターラップ (帯鉄筋) としての適用は出来ない |
| | フーチング | | |

**表**–3.5 に示す定着方法の適用可否の判定については，これまでの実験結果等から，要求される性能に対してどのような条件でも確実に効果を発揮できる定着方法であることを前提とし，その中で施工性の良い継手方法を「◎：推奨する定着方法」としている。したがって，相対的に施工性が良くない，もしくは施工性は良いがクリアすべき前提条件がある場合は,「○：適用可能な定着方法」として提案している。

また，定着体付き鉄筋は，軸方向鉄筋を断面周長方向に囲む帯鉄筋や引張鉄筋と圧縮鉄筋を取り囲むはりのスターラップのような鉄筋に対しては適用性が明らかでないため，適用しないものとする。はりのスターラップへの適用例を**図**–3.13 に示す。




**図**–3.13 定着体付き鉄筋のはりのスターラップへの適否

### (1) 判断基準

適用可否の判断基準は次のように考える。

- 壁，スラブ等の面状部材，面内方向の変形が無視できる部材に用いる，部材断面の内部を横切り，表面に配置される水平方向鉄筋と共同して横拘束効果を与える中間帯鉄筋の代わりや，

断面内部を横切り配置されるせん断補強筋の代わりとして用いることが出来る。
これは，次の 2 点が前提となっている。
  - 面内方向の変形を無視できること
  - 面外方向の変形については別途面方向表面に水平方向鉄筋が配置されていること
- 柱の中間帯鉄筋の代わりとしては，前節に示した耐荷機構の明確化，要素および部材試験により必要な性能が確認されれば使用して良いが，軸方向鉄筋を取り囲んで配置する横拘束筋 (帯鉄筋) の代わりに使用してはならない。ここで，試験による性能確認では構造物に想定される軸力の大小を考慮しておく必要がある。
- はりの場合，軸方向鉄筋 (引張鉄筋) を取り囲むせん断補強筋 (スターラップ) の代わりに使用してはならない。

柱の軸方向鉄筋を取り囲んで配置する横拘束筋の代わりや，はりの軸方向鉄筋を取り囲むせん断補強筋の代わりとして使用できない理由は，その性能が実験等により十分に確認されていないためである。さらに，道路橋示方書[1)] 下部構造編では，せん断補強効果が有効に働くように柱状の部材の帯鉄筋は軸方向鉄筋を取り囲むように配置するよう規定していること，また，せん断補強効果が有効に働くようにはりのスターラップは引張鉄筋を取り囲むよう配置するよう規定していることを考慮した。

# 第4章　鉄筋の継手方法の適用及び管理に関する検討

## 4.1　鉄筋の継手に求められる性能

現在の道路橋下部構造の設計実務において，鉄筋の継手は鉄筋径及び構造部位により重ね継手とガス圧接継手が使い分けられている。地方整備局等の設計要領類には，原則として D25 以下の鉄筋は重ね継手，D29 以上の鉄筋はガス圧接継手 (場所打ち杭は除く) とされている。このような継手方法の使い分けは，太径鉄筋で重ね継手を用いると，かぶりコンクリートの付着割裂による脆性破壊，施工性の低下のリスクが大きくなることと経済性の低下のトレードオフを考慮して決められているものと考えられる。

ガス圧接継手は，適切な施工管理により鉄筋母材並みの性能を発揮できることが確認されている。その一方で，作業が天候に左右される，時間がかかるなどの施工性や経済性の問題だけでなく，天候や作業者の技量・熟練度が継手品質に影響する可能性もあり，重ね継手と同様に太径鉄筋，高強度鉄筋になるにしたがって施工の難度が高くなるというリスクの増大等の課題を抱えている。

実際の施工では，ヒアリング調査でも回答が得られたように，太径鉄筋におけるガス圧接継手の施工は余熱に時間がかかるなど施工効率の低下が懸念されることから，D35～D38 程度の太径鉄筋になると，ガス圧接継手から機械式継手への変更が検討され，D51 のような太径鉄筋を用いるような場合には，機械式継手により対応している場合がほとんどである。また，深礎杭の施工のような閉塞空間においては，作業員の作業安全性確保の観点から，ガス圧接継手ではなく機械式継手を適用する場合もある。このような継手の変更は通常，施工承諾という形で発注者から承諾を得たうえで行われているようである。機械式継手を採用する理由は，ヒアリング調査において複数の回答が得られているように，資格を有し，かつ，熟練した技量者が不要，施工性が良い，天候に左右されない，太径鉄筋への対応が容易等の点である。

ところで，継手に関する現状の運用にはいくつか課題もある。発注者にとっては，同じ機械式継手の中でも様々な工法が存在することから，施工管理，品質管理方法が一様に定めることができないこと，施工の段階での継手方法の変更により，機械式継手のカプラー等のふくらみの影響で必要なかぶりが不足が生じたり，継手部を取り囲む鉄筋に特別な加工が必要となる可能性が考えられることなどがある。このような継手部の形状や継手位置などに対する配慮は，本来，設計時点で考慮されていることが望ましいと思われる。

以上の点を考慮して，以下にガス圧接継手の課題に対応できる機械式継手の標準化を目指して各種検討を行った。また，各継手に要求される性能を示し，それを満たすための施工管理，品質

管理項目について検討を行った。

### 4.1.1　鉄筋の継手に関する現行の規定及び運用

鉄筋コンクリート用棒鋼に関する JIS 規定 (JIS G 3112) では，鉄筋の定尺長が定められており，その最大定尺長は 12 m となっている。これは運搬性等を考慮したものであると思われる。橋梁下部構造をはじめ，規模の大きな鉄筋コンクリート構造物では，部材の弱点とならないように継手を設け，鉄筋の一体化を図り，構造物が構築されている。

鉄筋の継手方法には，重ね継手の他，ガス圧接継手，機械式継手，溶接継手等がある。これらの継手方法は，継手単体で応力を伝達するものと，コンクリートとの付着により応力を伝達するものに分類することができる。これを**表**–4.1 に示す。

**表**–4.1 鉄筋の継手方法と応力伝達機構

| 継手方法 | コンクリートとの付着 | 応力伝達機構 |
|---|---|---|
| 重ね継手 | 期待する | コンクリートとの付着力を介して応力を伝達 |
| 重ね継手併用の機械式継手 | | |
| ガス圧接継手 | 期待しない | 継手を介して直接応力を伝達 |
| 機械式継手 | | |
| 溶接継手 | | |

道路橋示方書[1)]では，継手が「部材の弱点とならない」ように，継手を一断面に集中させないこと，重ね継手に必要な継手長，丸鋼の重ね継手については定着フックを設けることが規定されている。また，重ね継手以外の機械的継手 (ここでは機械式継手)，スリーブ継手，溶接継手，ガス圧接継手等については，鉄筋の種類，直径，応力状態，継手位置等を考慮して継手強度を定めることを規定している。これらの記述は，重ね継手を前提としたもので，その他の継手方法については記述が具体的ではないが，実施工においては，構造物の大規模化や耐震設計等による要求性能の高まりを受け，重ね継手だけで対応することは困難であり，特に太径の軸方向鉄筋には，ガス圧接継手や機械式継手が一般的に用いられている。道路橋示方書の鉄筋の許容応力度の項では，ガス圧接継手の許容応力度は，十分な試験及び管理を行う場合，母材の許容応力度と同等と見なして良いされている一方で，溶接継手，機械的継手，スリーブ継手等の継手強度は，使用条件を考慮した試験を行って定めるものと規定されている。

また，ガス圧接継手の十分な試験や管理について具体の記述はなく，外部機関により管理規定等が整備され，また，機械式継手については，建築分野における公的認定機関の認定を受けた継手工法などを，その開発メーカーが定めた要領類に従って施工および検査されているようである。

このような現状を考慮して，本資料では，道路橋下部構造に用いられる鉄筋の継手に求められる性能及びその性能を満足するための品質確認方法，施工及び品質管理の規定を明確にするための検討を行うこととした。

### 4.1.2　他の基準・指針における鉄筋継手の要求性能

鉄筋の継手に要求される性能としては，継手単体が有するべき性能と，鉄筋継手を有する部材(以下，継手部) の変形等に対する性能を評価する必要がある。また，鉄筋継手を用いる部材の位置によって要求される性能が異なる。ここに，建築，土木分野それぞれの要求性能及び評価方法についてレビューする。

#### (1)　建築分野における継手性能

##### 1)　平 12 建告第 1463 号「鉄筋継手の構造方法を定める件」

建築分野では,「建築基準法施行令第 73 条第 2 項ただし書」の規定に基づき，重ね継手以外の継手を特殊な継手方法として，告示 (平 12 建告第 1463 号「鉄筋継手の構造方法を定める件」) が定められている。この告示では，ガス圧接継手，溶接継手，機械式継手を対象に，それぞれの継手の構造等について示されている。

(a) **ガス圧接継手**　圧接部の膨らみの直径と長さ，圧接面のずれ，鉄筋の偏心量，強度に影響を及ぼす折れ曲がり，焼き割れ，へこみ，垂れ下がり及び内部欠損がないことが定められている。

(b) **溶接継手**　突き合わせ溶接とすること (径が 25 mm 以下の主筋等であれば重ねアーク溶接継手とできる)，割れ，内部欠損等の構造耐力上支障のある欠陥がないこと，主筋等を溶接する場合に，溶接される棒鋼の降伏点及び引張強さ以上の性能を有する溶接材料を使用することが定められている。

(c) **機械式継手**　接合部分は構造耐力上，支障のある滑りを生じないよう固定し，主筋等の降伏点から求めた強度以上を有すること (引張力が最小でない位置に設ける場合は，強度の 1.35 倍以上または主筋等の引張強さに基づき求めた強度以上の強度)，モルタル，グラウト等を用いて接合部分を固定する場合の強度の下限値，ナットを用いたトルクの導入による接合部分を固定する場合の導入軸力の下限値，圧着による接合部分を固定する場合は接合部分を鉄筋に密着させることが定められている。

##### 2)　建築物の構造関係技術基準解説書

「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」では，上述の告示を補足する形で，機械式継手及び圧着継手性能判定基準，溶接継手性能基準，鉄筋継手使用基準について記述されている。これは，建設省の旧通達「平 3 住指発第 31 号」に定められていた継手性能判定基準および継手使用基準を引用したものである。「平 3 住指発第 31 号」は，平成 3 年の通達以降の機械式継手の使用実績や技術の蓄積等を踏まえ，公的審査機関の審査をもって判定基準を満足するものとして取り扱われるようになったことにより，1991 年に廃止されたものである[22)]。

重ね継手，ガス圧接継手及び重ねアーク溶接継手を除く機械式継手，圧着継手に関しては，継手単体の性能試験または部材としての試験を行い，所要の性能を満足することによって，継手単体の性能を SA 級，A 級～C 級の 4 種類に分類する。溶接継手については，上記試験の結果，所要の性能を満足することにより，A 級を上限とした継手性能を有するものとして扱われる。ここで，SA 級，A 級～C 級の継手性能は，以下のような性能を有する継手として分類される。

**SA 級継手**　強度，剛性，靱性等に関してほぼ母材並みの継手
**A 級継手**　強度，剛性に関してほぼ母材並み，その他に関しては母材よりもやや劣る継手
**B 級継手**　強度に関してはほぼ母材並み，その他に関しては母材よりも劣る継手
**C 級継手**　強度，剛性に関して母材よりも劣る継手

機械式継手と溶接継手に関しては，日本建築センター等の公的評定機関が，これらの継手性能について審査・認定を行うことで，建築物への適用が可能となっている。

また，建築分野では，計算方法，構造部位，継手性能，全数 or 半数継手によって，その継手方法の適用可否が示されている。詳細は割愛するが，継手性能が SA 級，A 級であればほとんどの場合で全数継手が可能となっている。

建築物の構造関係技術基準解説書[23]では，圧接継手の性能に関する規定は特にされておらず，旧日本圧接協会 (現在の日本鉄筋継手協会) がガス圧接継手性能判定基準，A 級ガス圧接継手使用基準等を整備していることを紹介するに留まっている。

#### 3)　建築工事標準仕様書・同解説[24]

建築工事標準仕様書・同解説 (JASS 5)[24]では，鉄筋の加工および組立てについて原則等を示している。JASS 5 では，継手は構造上重要な部分で，継手の種類や位置については設計図書に指示されるべきであることから，継手位置は特記によるものとし，特記に指示がない場合には，応力の小さな部分に設ける，1ヶ所に集中して設けないほうがよいとの観点のもと，好ましい継手位置についても示している。また，重ね継手，ガス圧接継手，特殊な鉄筋継手 (機械式継手，溶接継手，圧着継手) のそれぞれについて，その適用可能な位置や仕様について示されている。

ガス圧接継手については，施工にあたっての遵守事項を示す他，旧日本圧接協会が定める鉄筋のガス圧接工事標準仕様書[3]によることが規定されている。機械式継手等の特殊な継手については，上述した平 12 建告第 1463 号の規定に適合する継手を用いるものとし，建設省の旧通達に基づく鉄筋継手性能判定基準により性能を確認することを求めている。

### (2)　土木学会における継手性能

土木学会では，鉄筋定着・継手指針 [2007 年版][4]を刊行している。この指針は，一般の鉄筋コンクリート，プレストレスコンクリートおよび鋼コンクリート複合構造物に用いる鉄筋の定着と継手の方法について，設計の考え方および施工と検査の原則を示している。対象とする継手は，鉄

筋相互を接合する方法で，圧接継手，溶接継手，機械式継手が対象となっている。以下，これを継手指針[4]と呼ぶ。

継手指針[4]では，継手部の性能照査項目は，構造物や部材の種類，要求性能，継手位置，母材鉄筋の種類，応力状態，荷重状態等に応じて，以下の性能の中から適切に選定するよう規定している。

(a) **静的耐力** ･･･ 継手を含まない一般部と対比して，曲げ耐力，せん断耐力等を評価
(b) **高応力繰返し性能 (耐震性能)** ･･･ 地震時等の作用による高応力繰返し荷重を受ける場合に部材の性能を保持するために継手部が持つべき強度，伸び能力等を評価
(c) **高サイクル繰返し性能 (耐疲労性能)** ･･･ 列車荷重のような高サイクル繰返し載荷の影響を受ける場合の耐疲労性能を評価
(d) **使用性** ･･･ 部材の使用性 (変形性状，美観など) に与える影響を評価
(e) **耐久性** ･･･ 継手部周辺のひび割れによる鋼材の腐食が部材の耐久性に与える影響を評価
(f) **その他 (低温に対する性能等)** ･･･ 極低温等の特殊な環境条件にある場合を対象として評価

また，継手単体の性能照査によって間接的に継手部としての性能を照査することが出来る場合には，継手単体に関する性能を評価し，施工および検査に起因する信頼度を考慮した上で，継手部の性能を評価することができるとしている。

継手単体の性能評価は，建築分野における継手性能試験と同様に所要の試験を行って継手性能を判定する。継手の判定基準についても建築分野と同様で，試験結果に応じて SA 級，A 級～C 級で継手性能を評価することを定めている。

溶接継手については，建築と同様に SA 級を設けず，A 級継手の性能に関しては，上記の試験の判定基準に加え，溶接継手に関する追加判定基準を満足する必要がある。

ガス圧接継手に関しては，その適用，性能評価や施工及び検査について示しており，指針の規定に従い施工される継手単体の継手性能は，SA 級とみなして良いとされている。

### (3) 建築分野と土木学会の違い

#### 1) 継手性能の評価

建築では，継手の単体試験あるいは部材試験のいずれかを行い，継手性能を評価することとしているが，ほとんどの場合は，継手の単体試験により継手性能が判定されている。継手指針[4]では，継手単体の性能照査から間接的に継手部の性能を照査することができる場合と断った上で，施工及び検査に起因する継手の信頼性を考慮して継手部の性能照査を行うこととしている。

継手単体の性能評価試験方法は，建築分野，継手指針[4]で共通のものとなっており，次に示す 4 種の試験がある。

(i) 一方向引張試験 (強度，剛性，靱性，すべり量)

(ii) 一方向繰返し試験 (強度，剛性，靱性，すべり量)

(iii) 弾性域正負繰返し試験 (強度，剛性，すべり量)

(iv) 塑性域正負繰返し試験 (強度，すべり量)

建築では，継手単体の性能評価においては，1) 一方向引張試験，2) 弾性域正負繰返し試験，3) 塑性域正負繰返し試験の 3 種類の試験を行い継手性能を判定し，部材の試験を行い性能を評価する場合は，1) 部材の正負繰返し試験，2) 一方向引張試験，3) 一方向繰返し試験の 3 種類の試験を行い，継手性能を判定することとしている。

土木学会の継手指針[4)]では，継手単体の性能評価においては，1) 一方向引張試験，2) 一方向繰返し試験，3) 弾性域正負繰返し試験，4) 塑性域正負繰返し試験の 4 種類の試験より継手単体の性能を判定し，施工及び検査に起因する信頼性や継手の集中度を考慮して継手の強度の設計値を補正し，継手部として必要な性能を有していることを照査することとしている。例えば，施工の信頼度と検査の信頼度を考慮して継手の信頼度を I 種，II 種，III 種に分類する。施工の信頼度と検査の信頼度をマトリックスで表したものが**表**–4.2 である。ガス圧接継手では，手動・自動ガス圧接の施工及び検査に起因する信頼度は II 種で，熱間押抜きガス圧接の場合は I 種を標準としている。また，機械式継手では，公的機関の認定を受けた教育方法に従って施工教育を受けた作業者が適切に施工を行う場合で，施工する継手に対して監督員が全数検査を行う場合は I 種，監督員が 10 %以上かつ 20 箇所以上の抜き取り検査を行う場合は II 種を標準としている。

**表**–4.2 継手指針[4)]に示される施工及び検査の信頼度から定まる継手の信頼度

| | | 検査のレベル | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| 施工のレベル | 1 | I 種 | I 種 | II 種 | ↑高い |
| | 2 | I 種 | II 種 | III 種 | |
| | 3 | II 種 | III 種 | III 種 | ↓低い |
| | | 高い ← | | → 低い | |

これと，**表**–4.3 に示す継手単体の引張降伏強度の特性値，母材の材料係数 $\gamma_s$，継手の集中度を考慮して，例えば，継手の引張降伏強度の設計値 $f_{jd}$ は，**表**–4.4 より求めて照査を行うことになる。

**表**–4.3 継手単体の引張降伏強度の特性値 $f_{jk}$

| 継手種類 | 継手単体の引張降伏強度の特性値 |
|---|---|
| SA 級 | $f_{yk}$ |
| A 級 | $f_{yk}$ |
| B 級 | 0.8 $f_{yk}$ |
| C 級 | 0.6 $f_{yk}$ |

ここで，$f_{yk}$：母材鉄筋の引張降伏強度の特性値

**表**–4.4 継手単体の引張降伏強度の設計値 $f_{jd}$

| 継手の信頼度 | 継手の引張降伏強度の設計値 $f_{jd}$ | |
|---|---|---|
| | 継手の集中度：1/2 以下 | 継手の集中度：1/2 より大 |
| I 種 | $f_{jk}/\gamma_s$ | $f_{jk}/\gamma_s$ |
| II 種 | 0.9 $f_{jk}/\gamma_s$ | 0.8 $f_{jk}/\gamma_s$ |
| III 種 | 0.8 $f_{jk}/\gamma_s$ | 0.6 $f_{jk}/\gamma_s$ |

### 2) 継手の使用可能な部位

建築では，鉄筋継手判定基準において判定された継手性能に対応した適用可能箇所を定める。ただし，継手性能が母材と同等であれば，継手位置を問わずに適用することが可能で，一断面の全ての鉄筋を継手構造にすることも可能である。建築分野では，プレキャスト部材の全数継手接合，先組み鉄筋の施工技術確立のため，過去に全数継手接合等の工法の適用性に関する委員会が設けられ，研究が行われてきた。

一方，継手指針[4]では，鉄筋継手の基本的な考え方として，応力の大きい断面をできるだけ避けること，鉄筋継手位置は相互にずらし，できるだけ同一断面に集めないことを規定している。その一方で，設計計算を行う場合には，継手の集中度に応じて継手の引張降伏応力度の設計値を低減することにより，その影響を考慮できるよう指針が取り纏められている。

また，継手の無い RC 部材と同様の設計が可能な条件を示しており，静的耐力，高応力繰返し性能等のそれぞれの継手部の性能に関して，所要の継手性能と施工及び検査に起因する継手の信頼性を有していれば，一般部と同様の設計を行うことができるとしている (**表**–4.5)。

**表**–4.5 継手指針[4]に示される継手のない RC 部材と同等の設計が可能な条件

| 継手部の性能 | 条件 | |
|---|---|---|
| | 軸方向鉄筋 | 横方向鉄筋 |
| 静的耐力 | 引張降伏強度の設計値による照査 | A 級以上かつ II 種以上 |
| 高応力繰返し性能 | ・継手集中度が 1/2 以下<br>SA 級かつ II 種以上<br>・継手集中度が 1/2 より大<br>SA 級かつ I 種 | A 級以上かつ II 種以上 |
| 高サイクル繰返し性能 | 疲労強度の設計値による照査 | |
| 使用性 | B 級以上 | B 級以上 |
| 耐久性 | B 級以上 | B 級以上 |

上記を満たさない場合は，まず，継手単体の性能に応じて継手単体の引張降伏強度の特性値が設定され，一方向引張試験，高応力繰返し試験，弾塑性域正負繰返し試験，塑性域正負繰返し試験結果から，それぞれの試験に対する継手性能を評価する。そして，継手部の評価は，継手単体の性能に加えて施工及び検査に起因する継手の信頼度，軸方向鉄筋であれば継手の集中度を考慮して，継手強度の設計値を求めて継手部の性能を評価する。

このような方針は，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]に準じた鉄筋コンクリート部材の性能規定型の照査方法を念頭に取り纏められたものであると考えられる。

## 4.2　道路橋下部構造の施工における継手方法の適用の実際

### 4.2.1　鉄筋のガス圧接継手

現行のガス圧接継手の施工管理に関しては，鉄筋のガス圧接工事標準仕様書[3)]が刊行されており，継手に要求される品質を満足するために必要な事項について記されている。通常の施工では，有資格者の配置，圧接作業，検査に至るまでを仕様書の管理規定のもと行われている。

しかし，鉄筋のガス圧接継手は，基本的に現場における人的作業となることから，天候や作業環境，人為的要因が不確定要因となる。仕様書[3)]の規定は，これらの不確定要因を可能な限り排除するよう配慮されている。しかし，工程の関係から，十分な余熱時間を確保できない等の事態も考えられる。ここで，ガス圧接継手の施工・検査において品質に影響を及ぼすと考えられる懸念事項を以下に示すことにする。

#### (1)　ガス圧接継手の継手性能

平成 7 年兵庫県南部地震後の調査では，建築物や橋脚等の構造物の軸方向鉄筋が，ガス圧接継手部で多数破断する現象が見られたため，ガス圧接継手の信頼性について多数の調査及び実験が行われている。

田中らは，地震後解体された 8 棟の建物から計 365 本の鉄筋のガス圧接継手試験片 (丸鋼：159 本，異形棒鋼：206 本) を採取して引張試験を試みている[25)]。JIS に定められる JIS Z 3120 に従って行われた引張試験により，46 本の継手破断が確認された。継手の破断比率は，採取した建物によって 0〜1%程度から 20%以上までと大きく異なっている。これらの破断は，JIS 規格の降伏点以下で生じたものは 1.5%と少なく，JIS 規格の引張強さ以下で破断したものは 5.8%で，異形棒鋼だけで見れば 8.2%であった。着目すべき点として，鉄筋径が大きくなるにつれ，破断比率が大きくなる傾向もあったことが報告され，ガス圧接継手そのものよりも，その施工の善し悪しが継手性能を左右していると推測している。太径鉄筋のガス圧接継手に関しては，信頼性に対する報告もある。例えば，西ら[26)]は，調査試験片の試験結果を全国の公的試験所 (SD35，D16〜D32 を 675,101 本) と東京都の特定の建設会社 (SD35，D19〜D29 を 19,117 本) から収集しガス圧接継手の信頼性について調査・分析を行っている。調査結果によれば，鉄筋径が太径になるほど引張試験で圧接部破断を生じる割合が増加する傾向が確認されている。

土木研究所では，旧日本圧接協会との共同研究により，ガス圧接継手部に関する各種試験を行っており，適切に施工されたガス圧接継手部は，母材以上の性能を有していると報告している[27)28)]。この報告では，地震時を想定して載荷速度や高ひずみ繰返し等の条件で引張試験を行った結果，ほぼ全ての試験片は圧接部で破断する事はなく，母材破断であり，適切な施工を行ったガス圧接継手は，地震時に想定される荷重条件においても十分に耐えることができると結論づけられている。

したがって，ガス圧接継手に関しては，施工が確実に行われることが，その性能を大きく左右すると考えられる。

### (2) ガス圧接の品質に影響する諸要因

#### 1) 天候，圧接施工環境等の影響

鉄筋のガス圧接作業は，一般に現場での作業となるため天候の影響を受けやすい。強風や降雨，降雪の場合は作業を中止しなければならない。しかし，少々の雨を想定したときに，雨の程度が施工品質に与える影響は定かではない。

また，圧接作業には，鉄筋面の切断及び圧接端面の加工から鉄筋の加圧及び加熱による接合，圧接器の取り外しまで，全ての工程を一人の作業員が担当して行われる場合が多いと思われる。このため，圧接端面の加工状態等は，施工段階毎のチェックの程度がばらついている可能性がある。その他，圧接作業は，ある断面における全ての圧接箇所を限られた時間内に完了させる必要がある。このため，例えば，過密配筋により作業効率が悪化したり，太径鉄筋で加熱時間がより多く必要になる場合等は，施工条件が悪くなることにより，ガス圧接継手に必要な時間の確保が難しくなる。

#### 2) 太径鉄筋に対する施工性

現在，圧接可能な鉄筋径としては，異形棒鋼で D16 以上で D51 までの JIS G 3112 の規格品とされている。ここで，ガス圧接継手は，鉄筋同士の接合部を圧力を加えながら加熱し，両者を一体化させる工法であるから，太径鉄筋になるほど施工の難易度が高くなる。その要因のひとつには施工時における熱管理があり，太径鉄筋の場合，十分な加熱が必要となることから加熱時間が長くなり，加熱時間が不足すれば圧接不良，長すぎても焼き割れが生じる可能性が高くなる。また，圧接時間そのものが長くなることもあり，太径鉄筋のガス圧接は作業者に大きな負担を強いられる。

#### 3) 高強度鉄筋 (SD490) への適用

SD490 等の高強度鉄筋を用いる場合，そもそも太径鉄筋が計画されているものと考えられるが，このような鉄筋をガス圧接により継ぐ場合，通常の太径鉄筋よりも慎重な施工管理が求められている。

文献[29]では，SD490 鉄筋の継手にガス圧接を適用することを目標に，適切な圧接条件について検討されている。この報告では，SD490 鉄筋にガス圧接を適用した場合に特有の問題として熱影響部における破断 (HAZ 破断) があった。HAZ 破断は太径鉄筋や隙間のある端面で散見されており，この発生を防ぐため圧接時の下限圧を規定することを提案している。

これらの影響を考慮して，仕様書[3]においては，SD490 鉄筋のガス圧接継手に関しては，加圧の下限値や超音波探傷検査の全数検査を要求する等，その他の鉄筋種よりも施工管理基準が若干厳しくなっている。

#### 4) まとめ

以上のことから，ガス圧接継手の施工は，その接合原理からしても当然の結果として，太径鉄筋になるほど施工に時間を要し，継手品質の低下や確実性の低下という可能性が懸念され，また，検査においても，太径鉄筋での検出精度の低下が懸念される。このため，太径鉄筋においてガス

圧接継手を画一的に採用することは，結果的にコスト増や構造物の性能確保に対するリスク増が懸念される要因となりうることが考えられる。

#### (3) ガス圧接継手の施工管理

上述のように，ガス圧接は施工者の技能に依存することから，施工の確実性を確認することが不可欠である。現在，ガス圧接継手の検査方法は，外観検査と非破壊検査がある。外観検査では，圧接部の膨らみ径や焼き割れの有無，圧接面のずれ，接合鉄筋のずれ等が規定の範囲内にあることを目視及び計測治具により確認する。非破壊検査として，JIS Z 3062 に定められる超音波探傷試験を行うことにより，圧接面の欠陥の有無を確認する。超音波探傷法は，鉄筋に沿って 2 つの探触子を走査させ，得られたエコー高さによって合否判定を行う。その合否判定基準は，圧接継手の引張試験と超音波探傷によるエコー高さを統計的に整理して設定されたものである。

しかし，太径鉄筋のガス圧接継手の超音波探傷法による欠陥の検出については課題がある。例えば，超音波探傷法による圧接面の検出可能範囲を調べた結果によれば，探傷範囲は圧接面に対して楕円形でその断面に占める割合は鉄筋径が太径になるほど小さくなり，偏心が生じるようである[30)]。この探傷範囲の調査結果を見ると，欠陥の検出に問題がない鉄筋径は D35 よりも小さい鉄筋になると考えられる。したがって，D35 以上の太径鉄筋の超音波探傷では，特にふくらみ部の欠陥が難しくなるようである。現在，このような問題点に着目して，非破壊検査方法に関する研究も進められているようであるが，その手法が確立されるまでには至っていない。

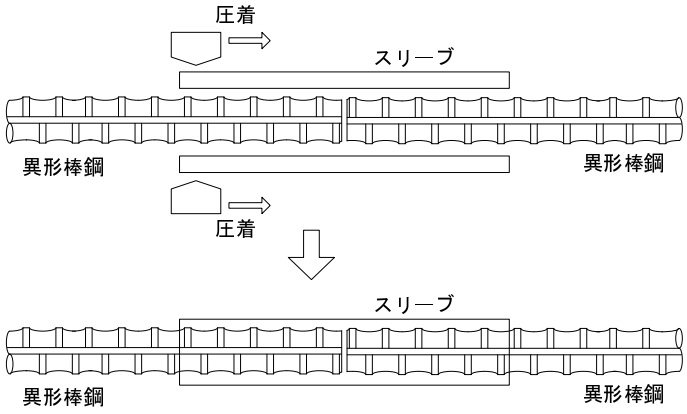
### 4.2.2 機械式継手

#### (1) 機械式継手の種類

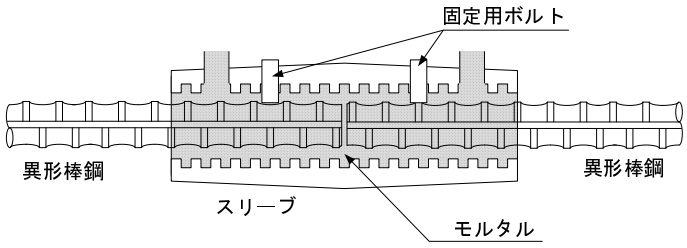
機械式継手には，その鉄筋同士の接合方法がいくつも提案されており，それぞれに特徴がある。ここで，継手指針[4)]を参考に，現在，主に使われており，かつ，公的機関で A 級以上の認証を受けている機械式継手の形式を以下に示す。

1) **スリーブ圧着継手**　スリーブの中に異形鉄筋を突き合わせて挿入し，スリーブを冷間で圧着加工して塑性変形させ，異形棒鋼のふし間に食い込ませることにより，スリーブを介して鉄筋を接合させる。

2) **モルタル充てん継手**　内側に凸凹の溝を有するスリーブの中に異形鉄筋を突き合わせて挿入し，スリーブと異形鉄筋との間に高強度グラウトを充填し，硬化した高強度グラウトを介して鉄筋を接合する。

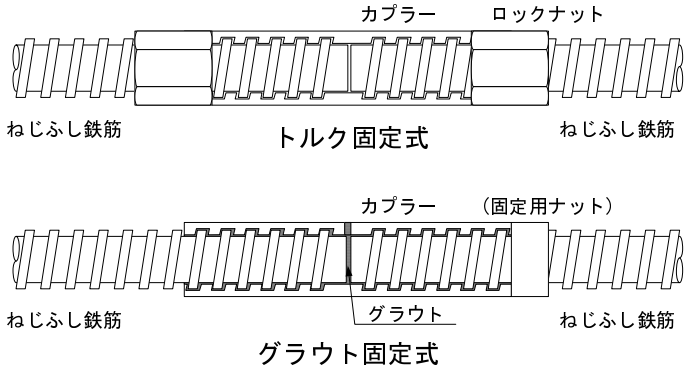



**図**–4.1 スリーブ圧着継手の例 (模式図)



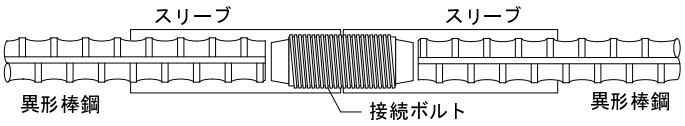

**図**–4.2 モルタル充てん継手の例 (模式図)

3) **ねじ節鉄筋継手** ねじ節鉄筋継手は，鉄筋の節がねじ状に加工された異形棒鋼を，内側にねじ加工されたカプラーを介して鉄筋同士を機械的に接合する継手である。カプラーとねじふし鉄筋の間にはすき間が生じるため，これを固定する 2 つの方法がある。ひとつは，カプラーの両端のロックナットにトルクを与え，締め付けによる軸力を導入して固定するトルク固定式で，もうひとつはカプラーと鉄筋のすき間にグラウトを充填硬化させて固定するグラウト固定式がある。



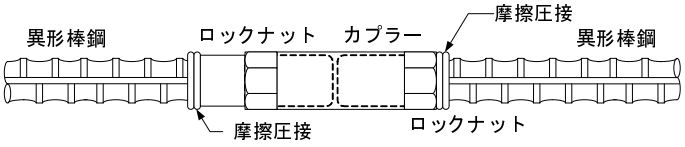

**図**–4.3 ねじ節鉄筋継手の例 (模式図)

4) **スリーブ圧着ねじ継手** 雌ねじ加工を施したスリーブの中に異形鉄筋を挿入し，スリーブを冷間圧着して鉄筋とスリーブを接合し，スリーブ同士の接合は，ねじ加工された専用の接続ボルトを用いて接合する。




**図**–4.4 スリーブ圧着ねじ継手の例 (模式図)

5) **摩擦圧接ねじ継手**　鉄筋の端部に摩擦圧着によりネジを接合し，このネジをカプラーによって接合した後に，剛性確保のためのロックナットで締め付けて一体化を図る。




**図**–4.5 摩擦圧接ねじ継手の例 (模式図)

### (2) 機械式継手の継手性能

機械式継手の継手性能に関しては，建築分野にて様々な性能検証が行われてきた。現在では，日本建築センター等の公的機関により所要の性能を有する継手として評定を受けた機械式継手は，要求される性能判定基準を満足した特殊な継手方法として取り扱われている。一方で，土木分野では機械式継手の性能が公的評定機関で評価された事例はない。

土木学会の継手指針[4)]では，機械式継手の適用にあたっては，継手単体の性能を確認することを求めており，継手の性能を評価するための試験方法について示されている。その評価のための試験項目や方法は，基本的には建築分野における継手性能判定基準に示されるものと同じものである。また，機械式継手の項においては，公的認定機関の認定を取得した機械式継手については，認証を受けた範囲において継手単体の性能を有するものとみなしてよいことが解説されている。したがって，建築分野で性能が確認された機械式継手については，土木学会が規定する継手性能を満足するものと考えられる。

土木研究所では，機械式継手及び溶接継手に関する性能確認実験を行っている[31)]。これは，機械式継手としてねじ節鉄筋継手 2 種 (ロックナット，充填)，端部ねじ加工継手 2 種 (端部摩擦圧接，圧着)，スリーブ継手 2 種 (モルタル充填，圧着) を，溶接継手としてエンクローズ溶接継手とフラッシュ溶接継手を対象として，地震時を想定した荷重に対する性能確認実験である。実験は，一方向引張試験，弾性域・塑性域における正負繰返し載荷試験と，一体接合となる継手 (端部摩擦圧接継手，エンクローズ溶接継手，フラッシュ溶接継手) に対する曲げ試験及び金属試験が行われ，実験の結果，いずれの継手方法も，地震で想定される荷重に対しては十分な性能を有していることを確認したと報告している。

機械式継手は，同じ形式であっても具体の仕様が開発メーカー間で異なるため，施工管理方法を一律に規定することはできない。実際の施工では施工手順・管理方法等について各継手メーカー

が定めた仕様に従っている。

建築分野において使用される継手は，公的機関の評定を受ける必要があるが，継手方法と共に，これらの施工法や試験法，不合格品の発生時の対処方法などもその評定内容に含まれる。また，機械式継手の作業者には特別な資格等は必要ないが，あらかじめ継手メーカーが行う作業資格者認定講習を受け，作業者として認定される必要がある。さらに，継手作業前にはモデル供試体の引張試験による施工前試験を行い，継手品質や継手作業の適否を確認する必要がある。

### 4.2.3　機械式継手の利用時の留意点

#### 1)　環境条件の影響

機械式継手を使用する利点として，天候に左右されにくいという点が挙げられる。ただし，機械式継手の中には，降雨等の影響により，その品質の低下が懸念される場合もある。例えば，モルタル充てん継手やねじ節鉄筋継手のグラウト固定式の場合，雨等による水分が多量にモルタル中に混入すると，想定されている強度を発揮できない可能性がある。また，極低温下においては，グラウトの流動性が確保できない等の可能性も考えられ，十分に充てんされない継手は，期待した性能を発揮することが出来ない恐れがある。その他，養生時における環境条件が，気中か水中か，低温環境か高温環境か等，その違いによって発揮される継手性能に影響を及ぼすことが考えられる。したがって，上述したような環境条件の影響についても十分に考慮して，適切な継手方法を選定する必要がある。

#### 2)　検査の精度

一般に行われる機械式継手の検査は，目視により確認し，記録に残す項目が多いため，検査の精度よりも，施工の各段階において定められた手順と方法で確実に行われているかという点が重要となる。

継手の剛性等にも影響する挿入長さの測定は，あらかじめ接合する鉄筋にマーキングをしておき，接合した後に確実に挿入されているかを確かめる必要がある。マーキング位置が適切でないと正しい検査を行うことができない。

グラウト等により接合部を固定する継手方法の場合，グラウトの強度等の品質が継手性能に影響するため，これを確認する必要がある。また，グラウト材を注入し，継手全体に確実に充填されたことが分かる方法でこれを確認する必要がある。

トルクの導入により継手を接合する方法では，締付けの完了及び規定のトルク値の導入を確認しなければならない。締付けの確認は，あらかじめマーキングを行っておき，締付け後は合マークのずれを確認するため，締付け前のマーキングを確実に行っておく必要がある。トルクの管理は，トルク導入値の確認及び記録を行わなければならない。

**3) 高強度鉄筋 (SD490) への適用**

SD490 などの高強度鉄筋に対応する機械式継手は，ねじふし鉄筋継手を中心に多数のメーカーから開発されている。建築部門で公的評定機関の評定を受けている機械式継手工法の多くは SD490 あるいはそれ以上の高強度鉄筋に対応している。また，施工方法，管理方法についても，評定の適用範囲の中で他の鉄筋の場合と同様の方法で行われる。

## 4.3 道路橋下部構造の鉄筋継手に関する規定の検討

### 4.3.1 各種継手の標準的な適用範囲

前述のように，鉄筋のガス圧接継手の適用には，将来的な熟練工確保への不安，太径鉄筋の施工及び検査等の品質管理，SD490 等の高強度鉄筋の圧接に対する施工の難しさや検査の信頼性等を考慮すると，今後は，設計時においても,「重ね継手以外の鉄筋継手はガス圧接継手」と一律に規定するのではなく，対象となる継手箇所に対して適切な継手方法を選定することが望ましい。

現場ヒアリング調査から得られた継手方法の適用の実績や，前節に示したような各継手方法の特徴を考慮して，鉄筋継手に関しては，鉄筋径・種類に応じて継手方法を区分することを提案する。**表**–4.6 に，施工の確実さ，施工管理の確実さ，施工のし易さを考え，一般的な鉄筋継手の適用区分を提案する。ここで，対象とする鉄筋は JIS G 3112 に規定される異形棒鋼とする。

**表**–4.6 標準的な鉄筋の継手方法区分 (案) ※ 異形棒鋼を対象とする

| 継手方法 | ～D16 | D19～D25 | D29～D35 | D38～D51 |
|---|---|---|---|---|
| 重ね継手 | ◎ | ◎ | | |
| ガス圧接継手 | | ○ | ◎ | ○ |
| 機械式継手 | | ○ | ◎ | ◎ |

重ね継手は，従来どおり D25 以下の鉄筋に対して適用する。この鉄筋径による制限は，重ね継手がコンクリートとの付着力を介して応力を伝達する機構であることから，太径鉄筋における付着割裂が懸念されること，太径鉄筋の重ね継手により，必要な重ね継手長が長くなり経済性が悪化すること，また，鉄筋間隔が狭くなりコンクリートの充填性が懸念されること等が理由である。例えば，建築分野では，実験的研究の結果から D32 以下までの鉄筋に重ね継手を使用してよいとされているが，土木構造物への適用を目的とした太径鉄筋における継手性能，部材の耐力や変形性能等を評価した実験や施工実績はほとんどなく，D25 よりも太径となる鉄筋への適用性は判断できないこと，**5.2.4** で後述するように，太径鉄筋に対する重ね継手長さの算定式の限界等も考慮して，ここでは通常の施工で行われているように，D25 を重ね継手を行う上限とすることを標準と考える。

D29～D35 までの鉄筋の継手はガス圧接継手または機械式継手を，D38 以上の鉄筋では機械式継手を標準とする。これは，太径鉄筋のガス圧接継手による施工効率の低下，太径鉄筋における超

音波探傷検査の検出率の信頼性の低下が懸念されること，および施工ヒアリング調査等から得られる施工実績等を考慮して，鉄筋の種類や鉄筋径によって適切な継手方法を提案するものである。

なお，**表**–4.6 に示す継手方法の区分は，出来るだけ応力の小さな位置に継手を設けることが前提であり，現行の道路橋示方書でも制限されているように，塑性化を考慮する領域では，原則として軸方向鉄筋の継手を設けてはならない。また，対象となる鉄筋の種類や径，継手位置において，継手単体及び継手を含む部材が所要の性能を確実に発揮することが可能で，かつ，定められた施工方法ならびに検査等の品質の確認方法により，適切に施工されることを前提としたものであることに留意されたい。

上述以外にも溶接継手等の継手方法もあるが，施工実績等を考慮して，ここでは重ね継手，ガス圧接継手，機械式継手を対象に分類することとしたもので，ここに示していない継手についても，継手位置において適切な継手方法であれば使用に関してよい。

### 4.3.2　鉄筋の継手単体および継手を含む部材の性能

鉄筋の継手は，鉄筋に生じる応力を確実に伝達し，継手がない鉄筋コンクリート部材と同等の応答を示すことが求められる。すなわち，継手単体の性能が鉄筋母材と同一の性能を有することが理想である。現時点では，そのような性能を有する継手方法は開発されていないため，現実的な評価方法としては，ある継手方法の継手性能を評価する場合，

- 適用箇所において想定される荷重に対して，継手単体の性能が鉄筋母材の性能と比較してどうか
- 適用箇所において想定される荷重に対して，継手を含む部材 (以下，継手部とする) としての性能が継手を含まない部材としての性能と比較してどうか

という点に着目して継手方法の性能を評価することになる。

#### (1)　継手部としての性能評価

道路橋下部構造の設計においては，構造物の安全性を確保するため，

- 部材が適切な強度を有するように
- 上部構造等に影響を及ぼし橋の供用性を害するような過大な変形が生じないように
- および構造物としての安定を確保するように

強度，変形，安定に対する照査を行わなければならない。このため，鉄筋に継手を設けた場合においても，構造物の安全性について照査を行う必要がある。

鉄筋に継手を設ける場合，ガス圧接継手における圧接部のふくらみがコンクリートに及ぼす影響や機械式継手におけるカプラー部がコンクリートに及ぼす影響，機械式継手のすべり性状等の性質を有する継手が混入することの影響が，部材耐力や変形性能等にどのような影響を与えるのかを評価する必要がある。一般には，耐力，変形性能等の部材に要求される性能が，継手を有す

る部材と継手を有していない部材の性能とで差がないことが明らかであれば，継手単体の強度から継手部の性能を評価することができるものと考えられる。

過去には，ガス圧接継手，機械式継手等の各種継手を適用した RC 部材の模型供試体に対して曲げ試験，せん断試験等を行い，継手部の性能を評価するための実験的研究が行われてきた[31)32)]。その結果，これらの継手構造がコンクリート内に存在している場合でも，継手を用いない場合と比較して力学的性状，部材としての性能等に大きな違いは見られなかったことが報告されている。したがって，一般的な鉄筋コンクリート構造物における鉄筋継手で，荷重条件が明確であり，継手部を有する部材の力学的性状や部材としての性能に関して，過去の実験や解析によりデータや知見が蓄積されている場合には，継手単体が有する性能を評価することにより，継手部としての性能を評価できるものとする。

一方で，今後，新たな機構による継手方法が開発された場合や適用しようとする構造部位の荷重条件が実験等で確認された条件と異なる等の場合には，鉄筋の種類，鉄筋径，応力状態，荷重状態，継手位置等を考慮して，継手部としての性能を実験，解析等を通して適切に評価しておかなければならない。

#### (2) 継手単体の性能評価方法

継手単体に要求される性能は，継手設置位置における応力や荷重条件を考慮して，その条件下において，できるだけ鉄筋母材に近い性能を有することである。これは，継手の設置位置が，どのような荷重を受ける部位であるかを把握しておくことが必要である。

性能照査項目には，基本的には，継手単体の強度，剛性，伸び能力を確認するのがよい。これに加えて，機械式継手では，継手のすべり量が部材の性能に影響することが分かっているので，その性能についても確認する必要がある。継手単体について，鉄筋母材の性能確認試験として行われる一方向引張試験の他，地震時における繰返し荷重に対する性能を確認する高応力繰返し試験，弾性域および塑性域における正負繰返し試験を行い，その力学的性能を確認する。

ただし，ガス圧接継手及び機械式継手の継手単体の性能に関しても，これまでの実験および解析により，その性能についてデータや知見が蓄積されており[27)28)31)32)]，定量的な性能を評価することができる場合には，鉄筋種類や鉄筋径，荷重条件，継手位置等の実験時の適用条件等が，継手を使用する条件に合致し，その継手の施工方法，管理方法が確立されていることを前提に，過去の実験結果等をもって，継手単体の性能を確認する。

なお，これらの試験方法については継手指針[4)]等を参考にできる。

### 4.3.3 ガス圧接継手の施工および品質管理における要求事項

ガス圧接継手により接合された継手の性能は，適切な技量者が確実に施工を行えば，十分に高い継手性能を有することが可能と考えられており，その継手性能について確認されている。この

ため，ガス圧接継手の施工に関しては，いかに確実な圧接作業を行うかということが重要となる。

確実なガス圧接継手の実施において，施工および管理の面からは，以下に示す項目について確認しておくことが必要となる。

(1) 作業者の技量

(2) 適切な圧接装置の使用

(3) 作業スペースの確保

(4) 圧接端面の加工，清掃状態の確認

(5) 圧接部の外観検査の実施

(6) 圧接部の非破壊検査の実施

### 4.3.4 機械式継手の施工および品質管理における要求事項

機械式継手は，継手開発メーカー各社から様々な継手方法が開発されており，施工や検査管理項目についても，継手毎に異なっている。このため，施工と品質管理における要求事項を一律に決めておくことで，全てをカバーすることは難しいが，基本的な事項を挙げることとした。

#### (1) 機械式継手の適用における基本的な要求事項

**1) 鉄筋の継手に機械式継手を用いる場合は，他の継手の場合と同様に部材の弱点とならないよう，継手を同一断面に集めない，応力の小さな位置に設ける**

コンクリートの充填性等に影響することに着目して，従来と同様に継手を同一断面に集中させないことを要求する。

機械式継手は，鉄筋径の 1.5 倍～3.0 倍程度あるカプラーやスリーブ，ねじ等を介して鉄筋同士を接合する方法である。したがって，継手を同一断面に集めると，コンクリートの充填性が悪くなり，部材の強度を低下させる可能性がある。また，継手の集中により鉄筋の連続性･冗長性が失われるという観点からも，継手を同一断面に集中しないのが良い。

機械式継手には，鉄筋母材と同等以上の性能が確認されている継手方法も多いが，安全性なども考慮して，できるだけ応力の小さな位置に継手を設けるのが良い。

**2) レベル 2 地震時の照査において部材の塑性化を考慮する範囲では，原則として継手を設けない**

下部構造の部材において，塑性化を考慮する領域では，大きな応力に対して部材の耐力で抵抗するのではなく，ある程度の変形を許容してエネルギー吸収を図る。このような大きな応力が想定される範囲においては，部材としての変形性能が要求されるため，機械式継手の性能だけで評価することは困難である。

建築分野では，多数の RC はり，柱部材の各種載荷実験を実施，継手単体の性能をもって部材としての性能も評価可能と判断している。しかし，橋梁下部構造の塑性化領域への適用には，荷重や応力条件，拘束条件，供試体規模，塑性ヒンジ領域の大小，鉄筋量，鉄筋比，かぶり等の構造細目を考慮してその適用性を判断する必要があるが，建築の部材実験では，ポストピークの挙動まで評価したものはほとんどないなど，これらの結果をそのまま土木構造物を評価できない可能性も考えられる。

以上を考慮して，耐震設計上，部材に塑性化を考慮する範囲では，原則として継手を設けないこととした。なお，やむを得ず，継手を設けなければならない場合は，継手単体の強度，剛性，じん性が鉄筋母材と同等以上であることを確認するとともに，継手を用いた部材の正負交番載荷試験を行うなどにより，部材に要求される性能を十分に満足していることを確認する必要があるものと考えられる。

**3) 継手の施工，養生及び供用時における環境条件に応じた適切な継手方法を選定する**

機械式継手の種類によっては，施工時や養生期間，施工後の外気温等の環境条件が施工性や継手性能に影響することが考えられる。以下に，各段階における環境条件が性能に影響を与える要因の例を示す。

| | |
|---|---|
| **施工時の環境条件** | 極低温下における充填材の流動性確保，降雨による充填材の配合率変化の影響等 |
| **養生期間中の環境条件** | 低温・高温，地中・水中等の養生条件が充填材の強度発現に与える影響等 |
| **施工後の環境条件** | 機械式継手に使用する有機グラウト等の耐火性能等 |

このため，継手方法の選定にあたっては，施工現場や施工箇所の環境条件に応じて適切な継手を選定するものとする。

**4) 継手毎に適切な施工および検査要領が整備されている**

機械式継手は，鉄筋同士の接合方法が様々であり，施工管理方法や検査方法は各継手で異なる。このため，継手毎に適切な施工および検査要領が整備されていることが望ましい。また，施工条件等の必要に応じて，必要な管理項目を設け，確実に継手性能を発揮できるよう整備しておかなければならない。

なお，**表–4.7** では，一例として，モルタル充てん継手とねじ節鉄筋継手の施工管理項目を挙げている。

**表–4.7** 機械式継手の施工及び検査における管理項目 (例)

| 機械式継手種類 | モルタル充てん継手 | | ねじ節鉄筋継手（グラウト固定式） | |
|---|---|---|---|---|
| 応力伝達機構 | ・ スリーブ内に充填したグラウトと鉄筋およびスリーブとの付着により応力を伝達 | | ・ カプラーとねじ節鉄筋との一体化による応力伝達 | |
| 継手性能の決定要因 | 1) スリーブの寸法，機械的性質（強度等）<br>2) 継手性能の発揮に必要な鉄筋長さ<br>3) グラウト性能（充填性，強度，考慮すべき環境条件に対する品質確保の可否） | | 1) カプラーの寸法，機械的性質（強度等）<br>2) 継手性能の発揮に必要な鉄筋長さ<br>3) グラウト性能（充填性，強度，考慮すべき環境条件に対する品質確保の可否） | |
| 継手の適性確認 | ・ 施工時と同条件での作業者による供試体作成および引張試験の実施 | | ・ 施工時と同条件での作業者による供試体作成および引張試験の実施 | |
| 施工前検査項目 | スリーブ | ・ 指定材料の確認<br>・ 継手性能に有害な影響を与える汚れ，欠陥等の有無 | カプラー | ・ 指定材料の確認<br>・ 継手性能に有害な影響を与える汚れ，欠陥等の有無 |
| | 鉄筋 | ・ 必要挿入長マーキング<br>・ 継手性能に有害な影響を与える汚れ等の有無 | 鉄筋 | ・ 必要挿入長マーキング<br>・ 継手性能に有害な影響を与える汚れ等の有無 |
| | グラウト | ・ 指定材料の確認<br>・ グラウトの充填性能 (フロー値)<br>・ 考慮すべき環境条件に対する適合性 | グラウト | ・ 指定材料の確認<br>・ グラウトの充填性能 (フロー値)<br>・ 考慮すべき環境条件に対する適合性 |
| 施工後検査項目 | 鉄筋 | ・ 挿入長確認 (マーキング) | スリーブ | ・ 挿入長確認 (マーキング) |
| | グラウト | ・ スリーブ内への充填完了確認<br>・ 継手性能発揮に必要な強度確認 | グラウト | ・ カプラー内への充填完了確認<br>・ 継手性能発揮に必要な強度確認 |
| その他留意事項 | ・ 継手の施工忘れ防止のため，継手箇所の全数について施工前後検査を実施・記録を義務づけ<br>・ 上記以外に，継手供給メーカーが定める施工手順，管理項目にしたがう | | ・ 継手の施工忘れ防止のため，継手箇所の全数について施工前後検査を実施・記録を義務づけ<br>・ 上記以外に，継手供給メーカーが定める施工手順，管理項目にしたがう | |

#### (2) 耐震設計上，塑性化を考慮しない部材設ける継手性能について

地震時において塑性化を考慮しない部材の照査は，一般に，発生する曲げモーメントやせん断力が部材の最大強度以下であることを確認することになる。このとき，継手の強度が母材の最大耐力に相当する強度と応力状態に応じた性能を有していることが要求されるため，機械式継手の選定において要求される性能としては，以下の項目が考慮されるが，これは，建築分野や継手指針[4]における A 級継手が相当するものと考えてよい。また，上記の機械式継手に対する要求事項を整理したものを**表–4.8** に示す。

- 継手の強度が鉄筋母材の最大強度に相当する強度を有している
- 比較的大きな応力状態において鉄筋が有する剛性や伸び性能を有している
- 設計上じん性は期待していないが，ある程度のじん性を有する

### 4.3.5 基礎の軸方向鉄筋への機械式継手の適用について

#### (1) 場所打ち杭の鉄筋かごの継手

現行の道路橋示方書では，場所打ち杭の鉄筋の継手に関しては，D25 以上の太径鉄筋に対しても重ね継手を用いてよいことが解説されている。通常の施工でも，場所打ち杭の軸方向鉄筋を重

**表–4.8** 機械式継手の適用部位において継手に要求される性能

| 設計計算上の部材種類 | | 必要な継手単体の性能※ | | | | 適用性の有無の判断基準 | 備　　考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 強度 | 剛性 | じん性 | 環境適応性 | | |
| 1) | 部材の塑性化を考慮しない領域 | ◎ | ◎ | ○ | 必要（継手の適用箇所における環境条件下において，所要の性能を確実に発揮できる継手方法であること） | 継手単体の性能が A 級以上 | 例) はり，フーチング，橋台壁，橋脚柱，基礎 |
| 2) | 部材の塑性化を考慮する領域（やむを得ない場合のみ） | ◎ | ◎ | ◎ | | 継手単体の性能が SA 級以上（部材実験等により継手の適用性が確認されたもの） | 例) 基礎，橋脚柱及びラーメン橋脚の塑性化領域 |

※継手単体の性能◎：母材と同等の性能，○：母材よりやや劣る性能

ね継手により接合しているのが一般的であると思われる。重ね継手にすることによって，鉄筋かごの軸方向鉄筋同士の位置のずれを吸収可能であること，鉄筋同士の接合が簡便であることから鉄筋かごの保持時間を短くすることができることが利点としてあげられる。しかし，重ね継手の適用においては次のような懸念がある。

- 太径鉄筋において継手長が非常に長くなり，施工性が著しく悪化する恐れ
- 空等制限がある等の施工条件によっては必要な重ね継手長を確保できない
- 軸方向鉄筋の結束だけでは十分な強度を確保できない場合も多く，これを補うために重ね継手部をすみ肉溶接等により接合する場合もある
- 一断面での継手 (いわゆるイモ継手) となり重ね継手の場合は特に弱点となりやすい

したがって，本来であれば，重ね継手よりも強固で，施工性も良い継手方法により確実に鉄筋同士を接合するのが望ましい。

ここで，ガス圧接継手は，適切な施工により十分な強度が期待できるが，鉄筋かごを吊り上げた状態での圧接作業は極めて困難であり，かつ，有資格者による 1 本ずつの接合となることから施工性も良くないため，場所打ち杭の継手としては適用性が低い。

### (2)　深礎杭の軸方向鉄筋の継手

近年では，直径が 5m 以上となるような大口径深礎の施工が増えているが，大口径深礎杭の鉄筋の組立作業は，鉄筋かごを接合するのではなく，橋脚などと同様に鉄筋を 1 本ずつ組み立てる作業となる。太径鉄筋を配置する大口径深礎の施工における軸方向鉄筋の継手は，重ね継手の場合では，太径鉄筋で継手長が長くなる等により施工性が低下する。ガス圧接継手では，通常の気中での作業に比べて，通気性の悪い閉塞空間での作業となる可能性があること，施工足場の確保が容易でない場合があるなど，作業員の安全性が確保されないケースも想定されるため，これらの

点に十分留意する必要がある。

### (3) 機械式継手の適用性について

基礎の軸方向鉄筋の継手に要求される性能について示す。場所打ち杭の鉄筋かごの接合に用いられる継手の性能としては，孔壁内へ鉄筋かごを建込みながら相互を接合する必要があるため，主に，i) 接合する鉄筋かごに若干のずれがあっても接合可能となるような誤差吸収能を有すること，ii) 接合後，直ちに次工程へ進むことができるような初期の継手強度 (耐衝撃性等) に対する性能を有している継手が求められる。大口径深礎杭に適用する場合は，主に，i) 太径鉄筋への適用性，ii) 孔内における作業性の性能を有している継手が要求される。これらの点に着目して，**4.2.2** の各機械式継手の適用性について比較したものを**表**–4.9 に示す。

**表**–4.9 基礎の鉄筋継手としての機械式継手の適用性比較

| | スリーブ圧着継手 | モルタル充てん継手 | ねじ節鉄筋継手 | | 端部ねじ加工継手 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | トルク固定式 | グラウト固定式 | スリーブ圧着ねじ | 摩擦圧接ねじ |
| 誤差吸収能 | ○ | ◎ | ○ | ○ | △ | △ |
| 初期の継手強度 | ◎ | △ | ◎ | ○ | ◎ | ◎ |
| 太径鉄筋* | ○ (D41) | ◎ (D51) | ◎ (D51) | ◎ (D51) | ◎ (D51) | ◎ (D51) |
| 作業性 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

※ 適用性に関する区分 … ◎：優れている，○：良い，△：他と比べて劣る

*：() 内は土木学会指針[4]より調査した機械式継手の適用可能最大鉄筋径

**誤差吸収能：**

スリーブやカプラーを介して鉄筋同士を接合する場合，誤差の吸収に対する適用性が高くなる。一方で，端部ねじ加工継手のように，雄ねじと雌ねじが直接に接合される場合は，誤差を吸収する余裕がなくなる。このため，場所打ち杭の継手に端部ねじ加工継手を適用する場合は，あらかじめ接合する鉄筋かご同士を仮接合して誤差がないように組み立てておく等の対応が必要となる。

**初期の継手強度：**

初期の継手強度は，どのようにして鉄筋が固定されるかに依存する。モルタル充てん継手の場合，スリーブ内のモルタルが硬化して最終的な継手強度が発揮される。モルタル硬化まではボルトを締め付けることにより動かないように固定されるため，ある程度の荷重には耐えられると思われるが，締め付けに関する施工品質にも左右され，その耐荷力を定量的に評価するのは難しい。モルタル硬化まで継手強度を期待しないとすると，継手指針[4]に紹介されている継手の場合，その養生には 1 日～3 日程度必要である。ねじ節鉄筋継手のうち，グラウト固定式の場合，ある程度の衝撃や荷重に耐えうる程度の初期強度はあると思われるが，良質な継手とするためには注入グラウトの硬化を待つのが適当である。したがって，グラウトの硬化時間が初期の継手強度を左右する。なお，ねじ節鉄筋継手のグラウト養生時間は，継手指針[4]に紹介されている継手では，養生不要なものから 30 分～1 日程度必要なものまで様々である。

**太径鉄筋：**

ほとんどの機械式継手が最大鉄筋径で D41 または D51 までの太径鉄筋に対応している。

**作業性：**

スリーブ圧着継手の場合，圧着用に大型の油圧ジャッキが必要となるため，狭小部における施工では作業性が劣ると考えられる。

以上を整理すると，一般的な機械式継手の適用性に関して，次のように特徴づけることができる。なお，基礎の鉄筋の接合に機械式継手を適用する場合，現場条件，鉄筋径等の各種条件によってその適用性が左右されるため，これらを考慮して適切に継手を選定する必要がある。また，継手方法だけでなく，同じ工法でも製品によってその特長が異なることに留意する必要がある。

1) **スリーブ圧着継手**

○ スリーブ圧着後，直ちに強度が発揮され，養生が必要ない

× 油圧圧着機が比較的大型となり，圧着作業に所要の作業空間の確保が必要

2) **モルタル充てん継手**

○ 鉄筋径に対してスリーブ径に余裕があるので誤差の吸収性能が高い

× 充填するグラウトが硬化するまで継手強度は固定用のボルトに依存し，所要の強度を発揮するまでに時間 (1〜3 日) を要する

3) **ねじ節鉄筋継手 (トルク固定)**

○ ねじ間にある程度の隙間があり，鉄筋同士を完全に突合わせなくても良いため，誤差吸収性能がある

○ トルク固定により強度が発揮されるので，特に養生の必要がない

4) **ねじ節鉄筋継手 (グラウト固定)**

○ ねじ間にある程度の隙間があり，鉄筋同士を完全に突合わせなくても良いため，誤差吸収性能がある

× 注入するグラウトが所要の強度を発揮するまで (30 分〜1 日程度) 養生が必要な製品もある

5) **端部ねじ加工継手 (スリーブ圧着ねじ)**

○ ねじ接合後，直ちに強度が発揮されるので養生の必要がない

× 誤差吸収性能がほとんどなく，鉄筋かごの施工では接続するかご同士を仮接合する等により，誤差がないよう施工する必要がある

6) **端部ねじ加工継手 (摩擦圧接ねじ)**

○　ねじ接合後，直ちに強度が発揮されるので養生の必要がない

×　誤差吸収性能がほとんどなく，鉄筋かごの施工では接続するかご同士を仮接合する等により，誤差がないよう施工する必要がある

### 4.3.6　溶接継手の適用について

ガス圧接継手や機械式継手以外の鉄筋継手として代表的なものに突合せ溶接継手がある。溶接継手にも様々な方法が開発されているが，接合する鉄筋の端部同士を規定量の開先間隔を確保し，裏当て金をあてがい，鉄筋を十分に溶込みを与えながら連続溶接を行って一体化を図る方法が一般的である。なお，裏当て金に銅や鋼板を用いた工法は，溶接により鋼板が鉄筋と一体化してしまうため，外観検査ができなくなるという欠点が指摘され，この対応として裏当て金にセラミックを用いた工法等も開発されている。

本資料では，現場ヒアリング調査において，溶接継手を適用したとの回答が得られなかったことから溶接継手を検討対象としなかった。しかし，いずれにしても，鋼材の溶接に対する品質確保は常に課題であり，道路橋示方書[1)]鋼橋編の規定や要求品質を鑑みながら対象工事への適用性を慎重に判断すべきである。ここでは，溶接継手の適用において留意すべき点について記す。

文献[31)]では，機械式継手や溶接継手等の様々な継手性能を確認する実験を行っており，この中で，SD345 鉄筋を用いたエンクローズ溶接継手，フラッシュ溶接継手に対する引張試験，繰返し試験，曲げ試験等の性能試験及びシャルピー試験等の金属学的調査を行っている。この中では，上記の溶接継手の性能はいずれの試験に対しても良好な結果を得ているようである。しかし，溶接は，局部に急激な熱を与えることから鉄筋母材への熱影響による材料ぜい性化の可能性及び現場の品質管理の困難さが指摘されているところである。文献[33)]では，SD490 の鉄筋を対象に，炭素当量等の鉄筋材料の性質や溶接方法の違いに着目して，エンクローズ溶接継手の引張試験，繰返し試験，90 °曲げ試験を行っている。その結果，引張試験及び繰返し試験に関しては，母材の実強度近傍の強度を確保しているようである。90 °曲げ試験に着目すると，90 °以下で破断したケースが確認されている。この破断は，全て溶接部ではなく，溶接部に近い熱影響部における破断と報告されており，文献[33)]では，これが材料の炭素当量に関係すると考えられている。

一般に鋼材への溶接により，ブローホール，低温・高温等の割れ，融合不良，オーバーラップ等の欠陥の可能性が考えられる。これらの欠陥は，速度や電流・電圧の管理等，施工に起因する欠陥である場合が多い。また，ガス圧接継手と同様に天候の影響も受けやすいことにも留意する必要がある。

以上を考慮すると，溶接継手の適用においては，最低限，以下の点に留意すべきである。

- 溶接を行うために適切な材料の確保を行う。例えば，文献[33)]で調査されているように，炭素当量について制限を加えることが考えられる。

- 施工前には作業者の技量の確認試験を行い溶接作業者の技量を評価する，その際，実施工時の鉄筋の方向や姿勢等を考慮して実施する必要がある。
- 試験施工における確認項目は，引張試験の他，曲げ試験が必須であり，更に，外観検査及び超音波探傷検査を実施する必要がある。ただし，現在，橋梁下部構造現場施工結果の品質実態についてデータ等の知見が無いことや，品質に与える要因についても知見が定まっていない中で，試験の数量等について目安を示すことは難しく，今後の課題である。

# 第5章　SD490までの高強度鉄筋の適用に関する検討

## 5.1　SD490までの高強度鉄筋の適用について

### 5.1.1　検討の目的

近年の橋梁下部構造物は，構造物の大型化と共に耐震性能に対する要求の高まりから，これを満足するために鉄筋量が大幅に増え，鉄筋が過密配置となっている場合が多い。例えば，中空断面橋脚や高橋脚において軸方向鉄筋としてD51が配置され，時には多段配筋になる場合もあるなど，施工者にとっては，RC構造物の過密配筋は既に限界に近い施工条件と感じているようである。したがって，今後新設される構造物に対して，設計者には過密配筋を生じさせないような設計も求められると考えられる。

その対応のひとつとして，材料を高強度化することにより，使用材料そのものの量を縮減し，過密配置を軽減させる方法が考えられる。また，高強度材料の適用により，鉄筋が過密にならない程度に断面を絞り，断面減少によるコスト縮減効果と下部工重量軽減による基礎の縮小が期待できる。さらに，基礎に対しても高強度材料を使用することにより，これまでに行われてきたような場所打ち杭の軸方向鉄筋の2段配置や，鋼管杭等の杭頭結合方法Bにおける杭外周への溶接による鉄筋の2段配置が軽減されることも期待できる。一方で，鉄筋コンクリート部材を従来と同様に粘り強い部材とするためには，高強度鉄筋の使用に伴いコンクリートの強度を引き上げる必要があるものと考えられる。

以上を考慮して，本資料では，現行の設計基準では適用範囲外とされているSD490までの高強度鉄筋を適用する場合でも，適切な設計計算が行われ，適切な構造物の設計が可能になるよう各種検討を行うこととした。また，高強度鉄筋の使用に付随してコンクリート強度を引き上げた場合の施工性についても検証を行う。そして，従来のSD345までの鉄筋を使用した場合と同様に設計して良いのか，どのような制限事項を考慮する必要があるのか，許容応力度をどのように設定すればよいのか等について整理した。

### 5.1.2　SD490までの高強度鉄筋の適用にあたっての課題と検討方針

#### (1)　高強度鉄筋の適用箇所

ここでは，橋梁下部構造の軸方向鉄筋への適用を念頭に検討を進める。特に，橋脚柱・橋台壁等の軸方向鉄筋，場所打ち杭の軸方向鉄筋，鋼管杭，PHC杭，SC杭等の杭頭補強筋への適用を想定する。

### (2) 常時およびレベル 1 地震時の設計に用いる許容応力度の設定

現行の道路橋示方書では，鉄筋コンクリート部材の設計に関して，常時及び L1 地震時は許容応力度により耐力照査を行っている。鉄筋の許容応力度については，SR235，SD295A・B，SD345 に対して定められているが，その値は，**表**–5.14)～6) に示すように，鉄筋の規格降伏強度に対して安全率を 1.7 程度見込んだ値となっている。地震時には，許容応力度を 1.5 倍するため，規格降伏強度を若干安全側に評価した値を用いて設計される。

**表**–5.1 の 1)～3) の場合では，SD295A・B と SD345 は同じ値となっている。これは，鉄筋の強度ではなく鉄筋コンクリート部材の耐久性に着目してひび割れを制御しているためである。高強度鉄筋 SD390，SD490 を適用する場合においても，これと同様に許容応力度を設定しても良いかという点について検討する必要がある。

**表**–5.1 現行の道路橋示方書に示される鉄筋の許容応力度 (N/mm$^2$)

| 応力度，部材の種類 ＼ 鉄筋の種類 | | | SR235 | SD295A<br>SD295B | SD345 |
|---|---|---|---|---|---|
| 引張応力度 | 1) 活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合（はり部材等） | | 80 | 100 | 100 |
| | 荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含まない場合の基本値 | 2) 一般の部材 | 140 | 180 | 180 |
| | | 3) 水中又は地下水位以下に設ける部材 | 140 | 160 | 160 |
| | 4) 荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含む場合の基本値 | | 140 | 180 | 200 |
| | 5) 鉄筋の重ね継手長又は定着長を算出する場合の基本値 | | 140 | 180 | 200 |
| | 6) 圧縮応力度 | | 140 | 180 | 200 |

### (3) レベル 2 地震時の許容塑性率の設定

鉄筋コンクリート部材の変形性能の特性は，降伏以降の塑性領域においても降伏棚を有し，その後ひずみ軟化～ひずみ硬化に至る鉄筋の力学的特性に依存している。ここで，鉄筋が高強度になると，降伏強度は大きくなるが塑性化域におけるじん性が低下することから，鉄筋コンクリート部材を使用する場合にも，同様のことが想定される。このため，レベル 2 地震時のように，部材の塑性化を許容することを前提に設計計算を行う場合には，高強度鉄筋を用いた鉄筋コンクリート部材の損傷過程を確認し，許容される程度の損傷に留まるよう許容塑性率を規定する必要がある。これらは，高強度鉄筋を使用した部材の載荷実験を以て評価する。

土木研究所構造物メンテナンス研究センター (以下，土研 CAESAR) では，場所打ち杭の軸方向鉄筋に SD490 を用いた組杭基礎の水平方向の正負交番載荷実験を実施している。また，鋼管杭協会との共同研究により，鋼管杭の杭頭補強筋の軸方向鉄筋に SD490 を適用して，同じく組杭基礎

に対する水平方向の正負交番載荷実験を実施している。その他，国土技術政策総合研究所との共同研究により，SD490 を軸方向鉄筋に適用した橋脚柱に対する水平方向の正負交番実験を行っている。これらの実験は現時点で既に実施されており，詳細な結果等については今後公表される予定である。

### (4) コンクリート強度引き上げへの対応

SD490 までの高強度鉄筋を適用するにあたり，組み合わされるコンクリートの強度の設定について検討する。鉄筋コンクリート部材は，鉄筋が引張力を負担し，コンクリートが圧縮力を負担する。部材をねばり強いものとするため，曲げを受ける部材では通常，鉄筋の降伏よりもコンクリートの圧壊が先行するような脆性的な破壊形態が生じないように軸方向引張鉄筋を配置する。**表–5.2** に示すように，これまでの基準の変遷からも，高強度の鉄筋を使用する場合には，あわせてコンクリートの強度を上げる傾向にある。

**表–5.2** RC 構造物の鉄筋とコンクリートの組合せの変遷

| 基準 | 年度 | 材料強度の規定範囲 | | 標準の組合せ | | 強度比 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 鉄筋 | コンクリート ($N/mm^2$) | 鉄筋 ($N/mm^2$) | コンクリート ($N/mm^2$) | (鉄筋/コンクリート) |
| 道路橋下部構造設計指針<br>橋台・橋脚の設計編 | 昭和 43 年 | SR24，SR30<br>SD24，SD30 | 18～20<br>20～24<br>24 以上 | SR24<br>(235) | 21 | 11.2 |
| 道路橋示方書・同解説<br>下部構造編 | 昭和 55 年 | SR24，SD24<br>SD30，SD35 | 21，24，<br>27，30 | SD30<br>(295) | 21 | 14.1 |
| 道路橋示方書・同解説<br>下部構造編 | 平成 2 年 | SR24，SD30A<br>SD30B，SD35 | 21，24，<br>27，30 | SD30<br>(295) | 21 | 14.1 |
| 道路橋示方書・同解説<br>下部構造編 | 平成 8 年 | SR235，SD295A<br>SD295B，SD345 | 21，24，<br>27，30 | SD345<br>(345) | 24 | 14.4 |

高強度鉄筋を使用する場合でも，従来の鉄筋コンクリートの破壊メカニズムを維持するという観点からは，鉄筋とコンクリートの強度の釣り合い関係を従来と同程度にしておくことが重要である。また，鉄筋の付着応力度は，鉄筋の引張応力がコンクリートの付着応力を超えないように設計される。特に，橋脚基部や杭頭結合部などの地震時に大きな応力が作用する部材の接合部においては，鉄筋の高強度化により曲げ耐力が向上するのに対して，必要定着長の不足が生じれば，鉄筋の抜け出しや付着切れによる部材の大きな損傷も想定される。これを回避するためには，鉄筋強度に合わせ定着長を長くとる必要があるため，鉄筋が埋め込まれる定着部に必要なコンクリート厚が大きくなる。これに対して，コンクリートの強度を上げることにより，定着長の増分を相殺することが可能となる。したがって，**表–5.2** より，SD345，SD390，SD490 の鉄筋を使用するときは，コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 30$ ($N/mm^2$) 以上とするのが良い。

しかし，コンクリートの設計基準強度を一方的に引き上げたところで，現場で品質の良いコンクリートを施工することができなければ，発生する不具合に対しての追加検討や適用条件が必要となることも想定される。フーチングのような断面寸法の大きなマスコンクリートや橋脚柱・橋

台壁などの下部を拘束されるコンクリートの施工では，セメントの水和熱による温度応力の発生による温度ひび割れが懸念される。コンクリートの強度を上げることによって単位セメント量が増加することから，温度ひび割れに対するリスクがさらに増大することになる。そこで今回，いくつかの地域で施工される橋梁下部工工事現場に依頼して，従来よりも設計基準強度が引き上げられたことを想定し，マスコンクリートとしてひび割れの発生が懸念されるフーチングのコンクリートの施工を対象に，施工性及び施工品質に及ぼす影響を評価するための試験施工を実施することとした。

## 5.2　常時およびレベル 1 地震時の設計に用いる許容応力度の検討

### 5.2.1　高強度鉄筋の許容応力度の設定

道路橋示方書に示される鉄筋の許容応力度は，常時・レベル 1 地震時において，鉄筋が弾性範囲内の挙動におさまるよう許容値を規定したものである。これらは経験的あるいは実績的な点を考慮して定められたものと考えられる。道路橋示方書では，**表**–5.1 にも示したように，鉄筋の規格降伏強度に対して安全係数 1.7 で除した程度の値を常時の設計において考慮するものとなっている。なお，レベル 1 地震時の設計では，許容応力度を 1.5 倍することから，鉄筋の規格降伏強度に対して若干安全側に評価した値 (1.5/1.7 = 0.88 倍程度) を考慮することになる。

SD345 などの普通強度の鉄筋と SD490 までの高強度鉄筋は，強度のばらつきに明確な違いはなく，降伏点以降の伸び性や降伏比 (降伏強度／ひずみ硬化域において発揮される最大引張強度) の大きさに若干の差が見られる程度である。したがって，高強度鉄筋の強度のみに着目して，許容応力度を設定する際には，従来と同等程度の安全余裕を確保することが考えられる。SD390，SD490 の鉄筋の規格降伏強度に対して安全係数 1.7 で除した値を鉄筋の許容応力度とすると，**表**–5.3 に示す値となる。

**表**–5.3 鉄筋の許容応力度の提案値 (N/mm$^2$)

| 応力度，部材の種類 ＼ 鉄筋の種類 | | | SR235 | SD295A<br>SD295B | SD345 | SD390 | SD490 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 引張応力度 | 1)　活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合（はり部材等） | | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含まない場合の基本値 | 2)　一般の部材 | 140 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| | | 3)　水中又は地下水位以下に設ける部材 | 140 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | 4)　荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含む場合の基本値 | | 140 | 180 | 200 | 230 | 290 |
| | 5)　鉄筋の重ね継手長又は定着長を算出する場合の基本値 | | 140 | 180 | 200 | 230 | 290 |
| | 6)　圧縮応力度 | | 140 | 180 | 200 | 230 | 290 |

なお，**表**–5.3 のうち，1)，2)，3) の場合は，異形鉄筋の強度の違いに関わらず，同じ値を示しているが，これは，耐久性の観点から，許容できるひび割れ幅の限度を考慮して設定されたものである。

### 5.2.2　学会の研究成果との比較

最新のコンクリート標準示方書 (2007 年)[7]では，許容応力度に関する記述がないが，2002 年のコンクリート標準示方書 (2002 年)[34]では，付録の中で，SD390 までの許容応力度が記されている。また，日本建築学会の鉄筋コンクリート計算規準・同解説 (以下，RC 規準)[35]でも，対象としているのは SD390 までの鉄筋である。

#### (1)　土木学会コンクリート標準示方書 (2002 年制定)[34]

コンクリート標準示方書 (2002 年)[34]では，付録の中で許容応力度法について示されている。この中では，SD390 までの鉄筋について許容引張応力度が設定されている。

**表**–5.4　コンクリート標準示方書 (2002 年)[34]における鉄筋の許容応力度 (N/mm$^2$)

| 鉄筋の種類 | SR235 | SR295 | SD295A・B | SD345 | SD390 |
|---|---|---|---|---|---|
| (a)　一般の場合の許容引張応力度 | 137 | 157 | 176 | 196 | 206 |
| (b)　疲労強度より定まる許容引張応力度 | 137 | 157 | 157 | 176 | 176 |
| (c)　降伏強度より定まる許容引張応力度 | 137 | 176 | 176 | 196 | 216 |

**表**–5.4 に示される (a) の値は，鉄筋の降伏点応力度に応じてその 0.6～0.55 を限度とし，さらに耐久性から許容しうるひび割れ幅の限度を考慮して異形鉄筋に対しては 206 N/mm$^2$ 以下とすることとして定められている。また，(b) は変動応力が大きく繰返し荷重の影響が著しい場合の許容応力度である。(c) は，地震の影響を考慮する場合や鉄筋の重ね継手長さ，定着長さを算出する際の基本値となる。これらの値は，本資料における提案値と同程度と考えられる。

#### (2)　RC 規準[35]

1999 年に改定された RC 規準[35]でも，鉄筋の許容応力度は SD390 までの鉄筋についてのみ示されている。

異形鉄筋の長期の許容応力度は，道路橋示方書と同様にひび割れ幅を制御するという観点から，強度に関わらず許容応力度を一定の値に設定されているものと考えられる。また，D29 以上の太径鉄筋に対しては，さらに安全側に評価している。短期については，鉄筋の規格降伏強度で評価するよう規定されている。

**表–5.5** RC 規準[35]における鉄筋の許容応力度 (N/mm$^2$)

| | 長　　期 | | 短　　期 | |
|---|---|---|---|---|
| | 引張および圧縮 | せん断補強 | 引張および圧縮 | せん断補強 |
| SR235 | 160 | 160 | 235 | 235 |
| SR295 | 160 | 200 | 295 | 295 |
| SD295A および B | 200 | 200 | 295 | 295 |
| SD345 | 220(*200) | 200 | 345 | 345 |
| SD390 | 220(*200) | 200 | 390 | 390 |

* D29 以上の太さの鉄筋に対しては (　) 内の数値とする

**※参考：RC 規準の改定案**

RC 規準は 2009 年中に改定予定で，現在，改定案が公開されている。この中では，SD490 の許容応力度を**表–5.6** のように設定している。

**表–5.6** RC 規準の改定案における鉄筋の許容応力度 (N/mm$^2$)

| | 長　　期 | | 短　　期 | |
|---|---|---|---|---|
| | 引張および圧縮 | せん断補強 | 引張および圧縮 | せん断補強 |
| SR235 | 155 | 155 | 235 | 235 |
| SR295 | 155 | 195 | 295 | 295 |
| SD295A および B | 195 | 195 | 295 | 295 |
| SD345 | 215(*195) | 195 | 345 | 345 |
| SD390 | 215(*195) | 195 | 390 | 390 |
| SD490 | 215(*195) | 195 | 490 | 490 |

* D29 以上の太さの鉄筋に対しては (　) 内の数値とする

現行の RC 規準[35]に比べて，長期の許容応力度が若干低めに提案されている。また，SD490 に対する許容応力度の設定については，平成 13 年の建築基準法に基づく告示「特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件 (国土交通省告示第 1024 号)」において，長期及び短期に生ずる力に対する許容応力度が定められたため，RC 規準の改定案は，これを準用したものと思われる。長期 (常時) では，SD295 と同程度の許容応力度となっており，短期 (レベル 1 地震時) では，規格降伏強度を許容応力度として設定されている。

### 5.2.3　コンクリートの許容応力度

前述のとおり，SD345 に加えて SD390，SD490 までの高強度鉄筋を用いる場合，使用するコンクリートの設計基準強度を 30 N/mm$^2$ 以上とすることが考えられる。設計基準強度 30 N/mm$^2$ の許容応力度は，現行の道路橋示方書に示されており，現行どおりの値を用いるものとする。

### 5.2.4　定着長の算出に関する検討

コンクリートと鉄筋の付着の関係には，鉄筋径，鉄筋表面形状，コンクリート強度，周辺コンクリートのかぶり厚さや横拘束筋の有無等，多くの不確定要因が複合的に影響することから，未だそのメカニズムが明らかでない面もある。このことから，定着長の算出には，これらの要因を考慮した算定式を用いる方法や，定着長の算出用の鉄筋の許容応力度とコンクリートの付着応力度を安全側に定め，簡易的に必要定着長を算出する方法など各基準で異なる考え方が用いられている。

#### (1)　道路橋示方書における定着長の算出

道路橋示方書では，鉄筋に許容する引張応力に対して鉄筋と接触するコンクリートの付着力が釣り合うように鉄筋の定着長の算出することを求めている。

$$l_a = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}}\phi \tag{5.1}$$

ここに，$l_a$ は付着応力度より算出する重ね継手長 (定着長)(mm)，$\sigma_{sa}$ は鉄筋の許容引張応力度 (N/mm$^2$)，$\tau_{0a}$ はコンクリートの許容付着応力度，$\phi$ は鉄筋の直径 (mm) である。

#### (2)　コンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]における定着長の算出

最新の土木学会コンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]や鉄道構造物の設計標準では，鉄筋周辺に存在するコンクリートの厚さや横方向鉄筋の諸元をパラメータとして算出するよう規定されてしている。

$$l_d = \alpha\frac{f_{yd}}{4f_{bod}}\phi \tag{5.2}$$

ここに，$l_d$ は鉄筋の基本定着長 (mm)，$\phi$ は鉄筋の直径 (mm)，$f_{yd}$ は鉄筋の設計引張降伏強度 (N/mm$^2$)，$f_{bod}$ はコンクリートの設計付着強度 (N/mm$^2$) で $f_{bod} \leq 3.2$(N/mm$^2$)，$\alpha$ は鉄筋のかぶり又は鉄筋同士のあきや横方向鉄筋の断面積及び間隔を考慮する係数 $k_c$ の大きさにより変動する係数である。

#### (3)　RC 規準[35)]における定着長の算出

RC 規準[35)]では，鉄筋の必要付着長の計算より定着長を算出する。ここで，仕口 (周囲から圧縮力を受ける領域) における必要定着長は，式 (5.3) において $K$ =2.5 として定着長を計算する。

$$l_{ab} = \frac{\sigma_t A_s}{K f_b \psi} \tag{5.3}$$

ここに，$\sigma_t$ は付着検定断面位置における短期，短期，長期荷重時の鉄筋存在応力度，$A_s$ は当該鉄筋の断面積 (mm$^2$)，$\psi$ は当該鉄筋の周長 (mm)，$f_b$ はコンクリートの付着応力度 (N/mm$^2$)，$K$ は鉄筋配置と横補強筋による修正係数 ($\geq$ 2.5) である。

### (4) 同一条件における必要定着長の比較

前節で示したように，各基準でそれぞれ定着長の算出方法が異なり，また，材料の応力度の設計値も異なる。さらに，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]，RC 規準[35]では，かぶり厚さや横方向鉄筋の配置等，側面割裂の影響なども考慮して計算されることから，鉄筋が定着される部位によっても異なることが想定される。そこで，上述したそれぞれの算定方法により必要定着長を求め，結果の比較を行った。

#### 1) 側面割裂の恐れがない場合の定着長

側面割裂の恐れがない場合について定着長の試算を行った。試算対象の設計条件を**表**–5.7 に示す。コンクリート強度，鉄筋強度，鉄筋径を変動パラメータとして，各基準に従って定着長を算出した。なお，現時点での基準で，SD490 の鉄筋の定着長が算定できるのは，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]だけであり，道路橋示方書と RC 基準[35]が，参考値という扱いになる。定着長の算定値は SD390 等の他の場合と同様の傾向が見られている。

各基準での適用は次のように考え，道路橋示方書[1]を用いる場合は，式 (5.1) より定着長を算出した。コンクリートの許容付着応力度や定着長を算出する場合の鉄筋の許容応力度は，道路橋示方書に規定される値を用い，示されていない SD390，SD490 の許容応力度については，**表**–5.3 の値を用いた。コンクリート標準示方書 (2007 年)[7]を用いる場合には，式 (5.2) より定着長を算出した。コンクリートの設計付着強度 $f_{bod}$ は，$f_{bok} = 0.28 {f_{ck}}'^{2/3}$ より $f_{bod} = f_{bok}/\gamma_c (\gamma_c = 1.3)$ で算出した。また，式 (5.2) に示される係数 $\alpha$ は付着割裂の影響を考慮する係数であるから，付着割裂の恐れがない場合は定着長が短くなることを考慮して，基準に定める $\alpha$ の最小値 0.6 を代入することとした。RC 規準[35]を用いる場合は，式 (5.3) より長期及び短期荷重時における定着長を算出した。鉄筋存在応力度 $\sigma_t$ は，長期及び短期それぞれの許容応力度を用いるものとし，SD490 については規定されていないが，SD390 までの許容応力度の設定の法則を参考に，長期においては，220 (D29 以上の鉄筋の場合は 200) N/mm$^2$，短期においては，規格降伏強度 (490 N/mm$^2$) として計算した。

**表**–5.7 定着長算出における設計条件のパラメータ

| | |
|---|---|
| コンクリート設計基準強度 | 24，30 (N/mm$^2$) |
| 鉄筋種類 | SD345，SD390，SD490 |
| 鉄筋径 | D19，D29，D51 |

試算結果を**表**–5.8 に示す。他の基準に比べて，道路橋示方書から求められる定着長は若干長くなる傾向がある。コンクリート強度の影響としては，24 N/mm$^2$ から 30 N/mm$^2$ に上がれば，いずれの基準の場合も，10%程度の定着長の低減に寄与するようである。

#### 2) 側面割裂の恐れがある場合の定着長

側面割裂の恐れがある場合について定着長の試算を行った。試算対象の設計条件を**表**–5.9 に示す。試算する部材は，側面割裂の可能性のある柱部材を想定し，**図**–5.1 に示すような断面を設定

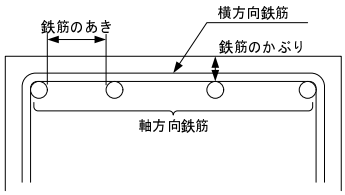
**表**–5.8 定着長の算出 (側面割裂の恐れがない場合)

| 鉄筋種類 | 鉄筋径 | 定着長 (mm)　*鉄筋径の倍数で表示 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 道路橋示方書 | | コンクリート標準示方書 | | RC 規準 | |
| | | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) |
| SD345 | D19 | 31.3 | 27.8 | 28.9 | 24.9 | 23.1 | 21.0 |
| | D29 | | | | | 22.6 | 20.6 |
| | D51 | | | | | 22.9 | 20.8 |
| SD390 | D19 | 34.4 | 30.6 | 32.6 | 28.1 | 21.0 | 23.8 |
| | D29 | | | | | 25.6 | 23.6 |
| | D51 | | | | | 25.8 | 23.5 |
| SD490 | D19 | 45.3 | 40.3 | 41.0 | 35.3 | 32.8 | 29.9 |
| | D29 | | | | | 32.2 | 29.2 |
| | D51 | | | | | 32.5 | 29.5 |

した。前節と同様に，コンクリート強度，鉄筋強度，鉄筋径を変動パラメータとして，各基準に従って定着長を算出した。

**表**–5.9 定着長算出における設計条件のパラメータ

| コンクリート設計基準強度 | | 24，30 (N/mm$^2$) | |
|---|---|---|---|
| 鉄筋種類 | | SD345，SD390，SD490 | |
| 鉄筋 | 鉄筋径 | 軸方向鉄筋 | 1)D19，2)D29，3)D35，4)D51 |
| | | 横方向鉄筋 | 1)D13，2)D19，3)D19，4)D22 |
| | 鉄筋間隔 (mm) | 軸方向鉄筋 | 150 |
| | | 横方向鉄筋 | 150 |
| | かぶり (mm) | 60 | |




**図**–5.1 試算対象の部材断面図

試算結果を**表**–5.10 に示す。道路橋示方書[1)]では，鉄筋を定着する箇所に関わらず，同じ計算式を用いており，鉄筋径にも依存しないが，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]と RC 規準[35)]では，鉄筋のかぶりや横方向鉄筋の諸元，鉄筋径により定着長が異なってくる。

試算結果からは，D29 程度までの鉄筋径であれば，鉄筋径の違いが定着長に影響を与えることはほとんどない。また，道路橋示方書[1)]で計算される定着長とコンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]や RC 規準[35)]で求まる定着長を比較すると，コンクリートの強度の違い，鉄筋種類の違いに関わらず，道路橋示方書[1)]から算定される定着長が，若干大きめの値を示す程度である。しかし，D29 よりも太径の鉄筋になるに従い，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]と RC 規準[35)]の定着長は，道路橋示方書[1)]の定着長に比べて加速度的に大きくなる。これは，道路橋示方書[1)]の定着長の算定式の限界を示しているものと思われ，道路橋示方書[1)]の定着長の算定式は簡易に定着長を算出できる反面，鉄筋径が太くなると付着割裂の可能性が高くなることを他の細目で補う必要があると考え

**表**–5.10 定着長の算出 (側面割裂の恐れがある場合)

| 鉄筋種類 | 軸方向鉄筋径 | 定着長 (mm) *鉄筋径の倍数で表示 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 道路橋示方書 | | コンクリート標準示方書 | | RC 規準 | |
| | | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =24 (N/mm$^2$) | $\sigma_{ck}$ =30 (N/mm$^2$) |
| SD345 | D19 | 31.3 | 27.8 | 28.9 | 24.9 | 29.1 | 26.5 |
| | D29 | | | | | 29.8 | 27.1 |
| | D35 | | | 33.7 | 29.0 | 35.9 | 32.6 |
| | D51 | | | 43.3 | 37.3 | 50.6 | 46.0 |
| SD390 | D19 | 34.4 | 30.6 | 32.6 | 28.1 | 29.1 | 26.5 |
| | D29 | | | | | 29.8 | 27.1 |
| | D35 | | | 38.1 | 32.8 | 35.9 | 32.6 |
| | D51 | | | 49.0 | 42.2 | 50.6 | 46.0 |
| SD490 | D19 | 45.3 | 40.3 | 41.0 | 35.3 | 33.7 | 30.7 |
| | D29 | | | | | 33.5 | 30.4 |
| | D35 | | | 47.8 | 41.2 | 39.8 | 36.2 |
| | D51 | | | 61.5 | 53.0 | 51.0 | 46.4 |

られる。また，道路橋示方書[1)]の計算式は，付着割裂の可能性が考えられる部位においては，重ね継手の適用が想定される D25 程度までが適用範囲の上限であるとも考えられる。

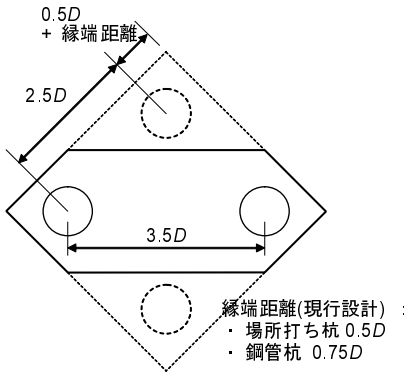
## 5.3　高強度鉄筋 SD490 の適用に関する部材実験

### 5.3.1　場所打ち杭の組杭に対する水平方向載荷試験

土研 CAESAR では，平成 20 年度に，$\phi$500 の場所打ち杭の軸方向鉄筋に SD490 の高強度鉄筋を使用した組杭基礎に対する水平方向の正負交番載荷試験を行っている。また，これに先立ち平成 19 年度に，土木研究所基礎チームにおいて，$\phi$600 の場所打ち杭の軸方向鉄筋に従来どおりの SD345 の鉄筋を使用した，同様の実験も行われている。これらの実験結果を比較することにより，SD490 の高強度鉄筋の適用性を評価することとした。なお，実験の詳細及び考察等については，別途，土木研究所資料として取り纏められる予定なのでそちらを参考にされたい。

#### (1)　実験概要

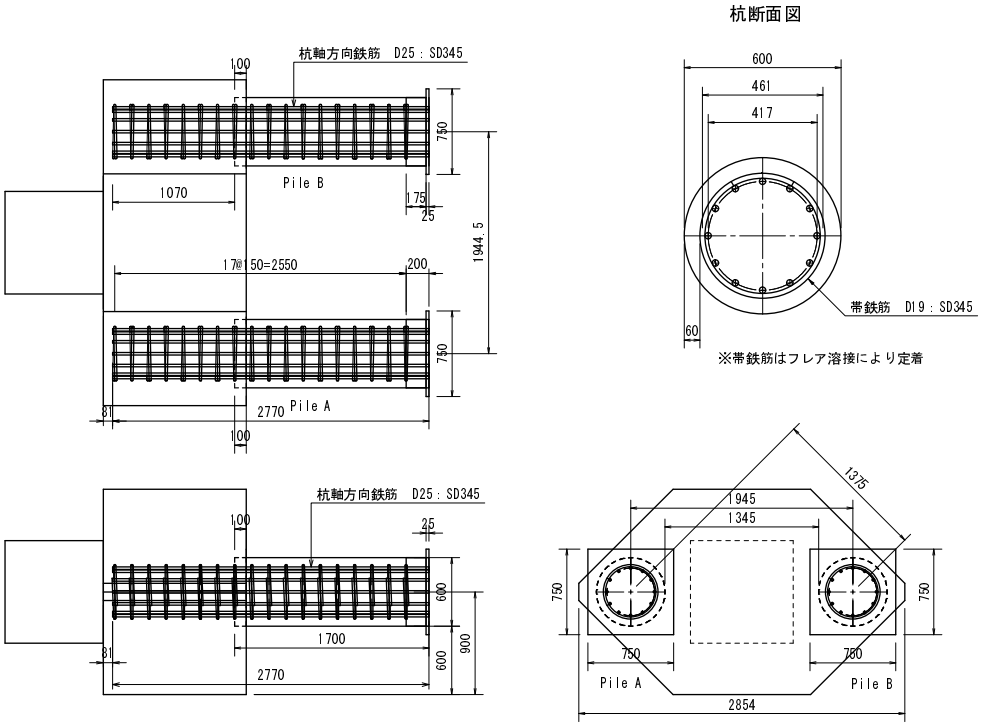
実験供試体は，2×2 の場所打ち杭鉄筋コンクリート造の道路橋橋脚基礎を模したものである。ここで，平成 19 年度に行った実験を Case D，平成 20 年度に行った実験を Case E と区別する。これらの実験供試体は，**図**–5.2 に示すように，橋軸あるいは橋軸直角方向に対して斜め 45 °方向に切り出したような形状をしている。これは，フーチング縁端距離の縮小効果について検証する目的も兼ねた実験であったため，フーチング縁端部の応力状態が最も厳しいと想定される 45 °方向に着目したことに起因するものである。



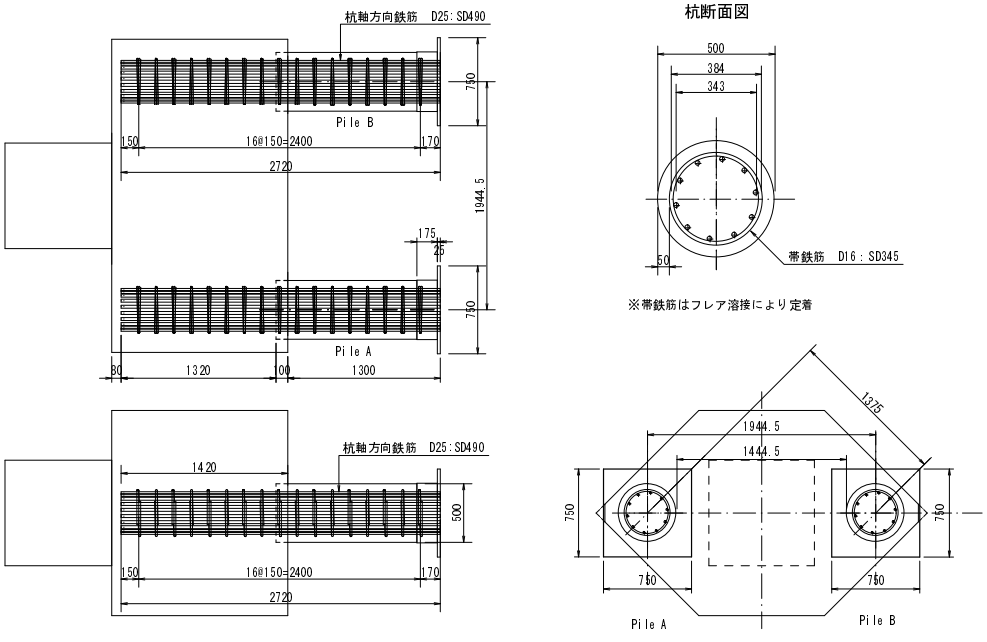

**図**–5.2 供試体のイメージ図

Case D の杭体は，基礎形式の調査結果[13)]より，標準的な鉄筋量を想定して設定しており，実構造物規模で，杭径 1200 mm，軸方向鉄筋 D32，1 段配筋に対して，杭径を 1/2 にスケールダウンした供試体を設定した。

また，Case E の杭体は，軸方向鉄筋に SD490 を使用することから，高強度鉄筋が使用される条件として，曲げ強度が不足して鉄筋量を多量に配置する必要がある場合を想定し，SD345 を最大限配置した場合と同等の曲げ強度となるように SD490 鉄筋を配置する方針とした。そして，供試体は軸方向鉄筋比が変わらないようスケールダウンを行った。**図**–5.3，**図**–5.4 に各供試体の配筋図を示す。**表**–5.11 に，各実験供試体の概要を示す。また，**表**–5.12，**表**–5.13 に，Case D, E の実験で用いたコンクリート及び鉄筋の材料試験結果を示す。




**図**–5.3 実験供試体配筋図 (Case D)




**図**–5.4 実験供試体配筋図 (Case E)

**表–5.11** 実験供試体の概要 (Case D，Case E)

| | | Case D | Case E |
|---|---|---|---|
| 杭種 | | 場所打ち杭 | |
| 杭径 (mm) | | 600 | 500 |
| 軸力 (kN) | | 1800 | 1200 |
| コンクリート設計基準強度 ($N/mm^2$) | 杭体 | 35 | 35 |
| | 躯体 | 21 | 30 |
| 鉄筋 杭-軸方向 | 鉄筋種 | SD345 | SD490 |
| | 鉄筋配置 | D25-12 本 | D22-10 本 |
| | 軸方向鉄筋比 (%) | 2.15 | 2.58 |
| 鉄筋 杭-横拘束筋 | 鉄筋種 | SD345 | SD345 |
| | 鉄筋配置 | D19@150 | D16@150 |
| | 帯鉄筋比 (%) | 0.72 | 0.60 |
| | 横拘束筋体積比 (%) | 1.66 | 1.38 |

**表–5.12** コンクリートに関する材料試験結果 (Case D，Case E)

| Case | 圧縮強度 ($N/mm^2$) | 弾性係数 ($kN/mm^2$) | ポアソン比 | 引張強度 ($N/mm^2$) | 材令 (日) |
|---|---|---|---|---|---|
| D | 23.77 | 23.00 | 0.193 | 2.475 | 42 |
| E | 31.39 | 27.16 | 0.188 | 2.910 | 29 |

**表–5.13** 鉄筋に関する材料試験結果 (Case D，Case E)

| | 降伏荷重 (kN) | 最大荷重 (kN) | 降伏応力 ($N/mm^2$) | 降伏歪 ($\mu$) | 最大応力 ($N/mm^2$) | 弾性係数 ($kN/mm^2$) | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 杭軸方向鉄筋 SD345，横節, D25 | 187.0 | 275.8 | 369.1 | 1892 | 544.2 | 195.1 | Case D |
| 杭軸方向鉄筋 SD490, 横節, D25 | 260.7 | 346.3 | 514.4 | 2626 | 683.5 | 195.9 | Case E |
| 杭帯鉄筋，フーチング SD345，横節, D19 | 106.0 | 160.5 | 370.0 | 1927 | 560.1 | 192.0 | Case D |
| 杭帯鉄筋 SD345，横節, D16 | 77.7 | 117.2 | 391.4 | 2032 | 590.2 | 192.6 | Case E |
| フーチング主鉄筋 SD345，横節, D22 | 141.3 | 220.5 | 364.9 | 1890 | 569.5 | 193.1 | Case E |

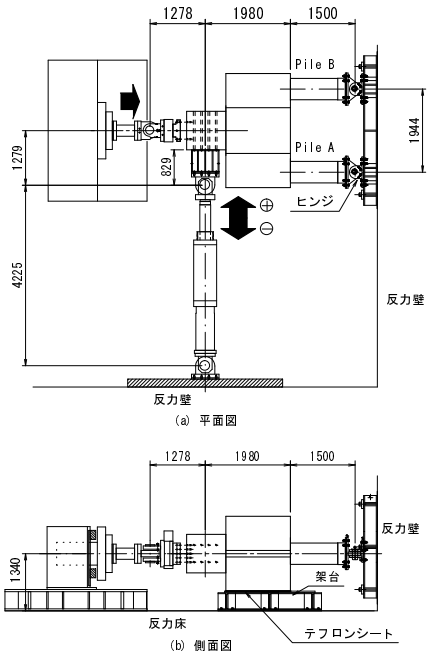
### (2) 実験方法

載荷試験は，**写真**–5.1，**図**–5.5 に示すように，杭基礎を有する橋脚を寝かせたような形に配置して，載荷荷重としては軸力と水平荷重を作用させる。

鉛直方向には，一般的な場所打ち杭で想定されるコンクリート設計基準強度の 6 ～10 %となることを念頭に，杭 1 本あたり約 3 $N/mm^2$ の軸応力を作用させる。Case D，Case E の試験における杭体 1 本あたりの軸応力は，設計基準強度に対していずれも 9 %程度となっている。

基準変位量は，予備載荷を行って杭体内の鉄筋に配置したひずみゲージの計測量を観察しなが

**写真**–5.1 載荷試験実施状況




**図**–5.5 載荷試験概要図

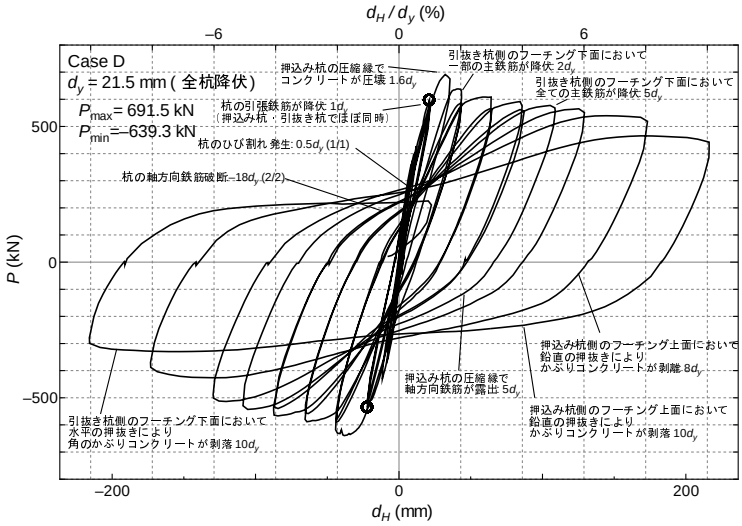
ら両杭体の軸方向鉄筋の降伏点を求め，この時の変位量を基準変位量 $d_y$ として設定した。そして，規準変位量を 1 ステップとして，$\pm 1d_y$，$\pm 2d_y$，$\pm 3d_y$ ⋯ のように，変位を制御しながら正負交番の漸増荷重を与えた。各載荷ステップでは，3 回までの繰返し荷重を載荷した。

### (3) 実験結果

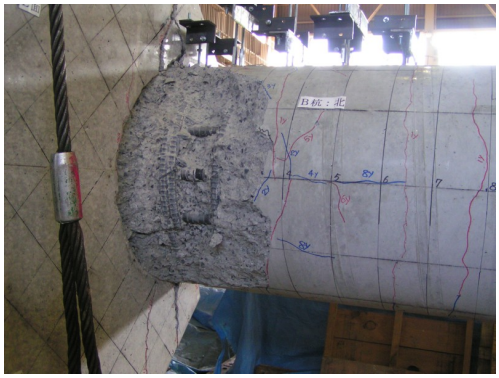
#### 1) Case D

杭体の軸方向鉄筋に SD345 を用いた Case D の載荷試験の結果，得られた荷重変位関係及び試験終了時における損傷状況を示す。

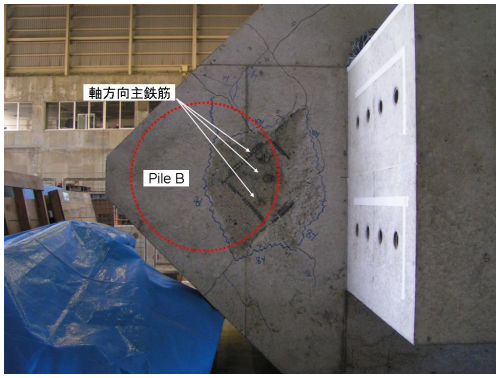
Case D では，$1d_y$ で杭体の軸方向鉄筋が降伏した後，$1.6d_y$ で杭体の圧縮縁のコンクリートが圧壊し，部材としての終局状態が確認された。その後，耐力がさほど伸びないまま，$3d_y$ で杭内側の圧縮縁でコンクリートの剥落し，徐々に耐力が低下しながら $4d_y$ ではフーチング縁端部のかぶりコンクリートが剥落している。$5d_y$ で杭体の軸方向鉄筋が露出した後，$8$～$10d_y$ にかけて軸方向鉄筋が座屈し，破断した。また，$10d_y$ でフーチング上面側でかぶりコンクリートの剥離～剥落が生じ，杭定着鉄筋の先端が見えており，ここで載荷を終了している。




**図**–5.6 Case D：荷重変位関係



**写真**–5.2 Case D：試験終了時の杭体の損傷状況

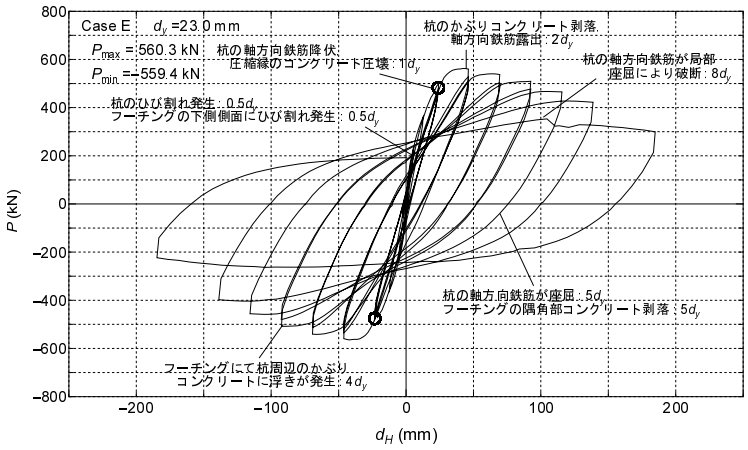



**写真**–5.3 Case D：試験終了時のフーチング上面の損傷状況

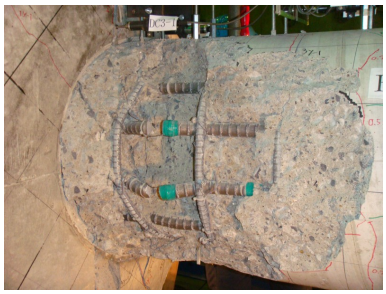
2) **Case E**

杭体の軸方向鉄筋に SD490 を用いた Case E の載荷試験の結果，得られた荷重変位関係及び試験終了時における損傷状況を示す。

Case E では，1$d_y$ における杭体の軸方向鉄筋の降伏とほぼ同時に杭体圧縮縁のコンクリートの圧壊が生じた。2$d_y$ で杭の圧縮縁のコンクリートが剥落して軸方向鉄筋が露出し，5$d_y$ で軸方向鉄筋が座屈し，フーチング縁端部のコンクリートが剥離，6$d_y$ では縁端部のコンクリートがさらに大きく剥落した。最終的には，8$d_y$ で引張側の鉄筋の局部座屈の影響で杭体の軸方向鉄筋が破断して載荷を終了した。載荷ステップに着目すると，全体的に Case E の杭体の損傷が早い結果となった。




**図**–5.7 Case E：荷重変位関係



**写真**–5.4 Case E：試験終了時の杭体の損傷状況

### (4) 実験結果の評価

場所打ち杭基礎の組杭に対する水平載荷試験としては，前節に示した Case D の他にも，土木研究所資料第 3553 号[36]において実施されており，組杭基礎の変形性能について検討されている。

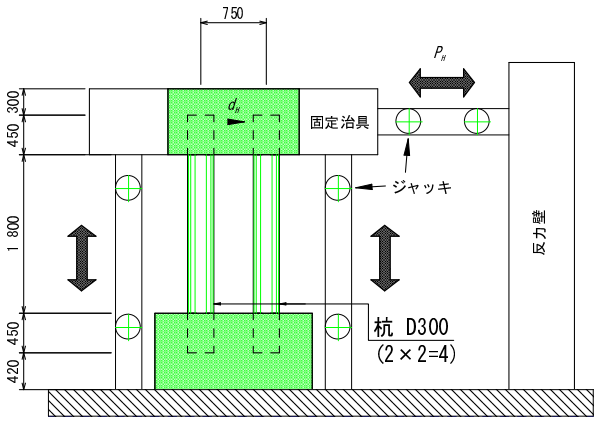
この中から，2 本 ×2 列杭基礎で，水平荷重の載荷方向が 0 °と 45 °で行われた実験結果を対象に，SD490 の高強度鉄筋を使用した Case E の実験と荷重変位関係を比較して，鉄筋強度の違いが変形性能に及ぼす影響について検討を行った。ここで，土研資料 3553 号[36]の載荷試験のうち，0 °載荷を行った実験を Case 0 °，45 °載荷を行った実験を Case 45 °と区分することにする。ここで，Case E，Case 0 °，Case 45 °の諸元を比較したものが**表**–5.14 である。また，Case 0 °，Case 45 °の実験概要図及び試験状況写真をそれぞれ**図**–5.8，**図**–5.9，**写真**–5.5，**写真**–5.6 に示す。

**表**–5.14 実験諸元の比較一覧 (Case D，E，0 °，45 °)

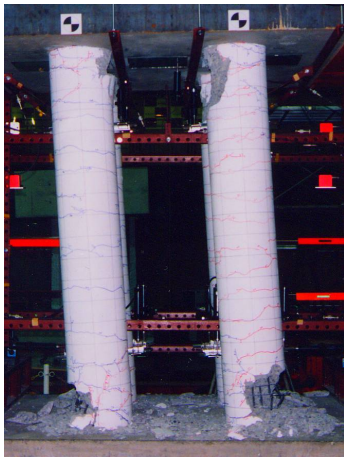
| | 杭配置 | 杭中心間隔 | 杭径 (mm) | 杭体のコンクリート強度 $f_{ck}$ (N/mm$^2$) | 軸方向鉄筋 | 杭頭結合 | 杭の初期軸応力度 (N/mm$^2$)※ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Case D | 2×1 列 (2×2 列を想定) | 2.29 D (0 °方向に換算) | 600 | 35 | SD345 D25 | 方法 B | 3.18 (0.091 $f_{ck}$) |
| Case E | 2×1 列 (2×2 列を想定) | 2.75 D (0 °方向に換算) | 500 | 35 | SD490 D25 | 方法 B | 3.06 (0.087 $f_{ck}$) |
| Case 0 ° | 2×2 列 | 2.5 D | 300 | 29 | SD295A D10 | 方法 A | 1.98 (0.069 $f_{ck}$) |
| Case 45 ° | 2×2 列 | 3.45 D (0 °方向に換算) | 300 | 29 | SD295A D10 | 方法 A | 1.77 (0.061 $f_{ck}$) |

※ 一般的な杭に作用する軸応力度はコンクリート設計基準強度の 6〜10 %程度

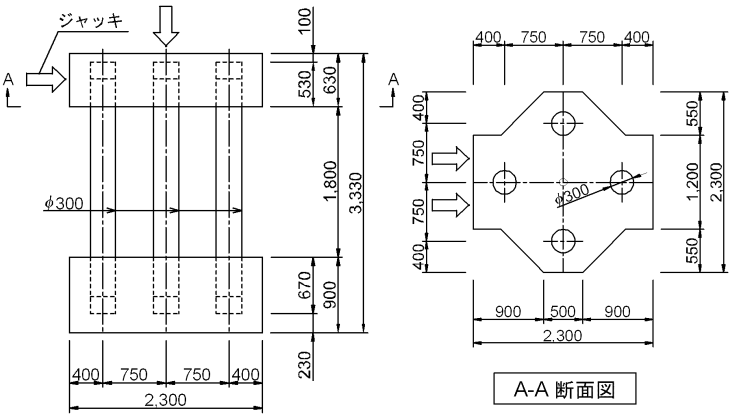
これらの実験から得られた荷重と変位及び変形角関係の包絡線を重ね合わせたものが，**図**–5.10，**図**–5.11 である。荷重変位関係は，$d_y$ は基準変位量 (mm) で，$d_H$ は荷重ステップにおける変位量 (mm)，$a$ はせん断スパン (mm) で，**図**–5.10 に示す荷重変位の関係は，荷重ステップにおける変位量 $d_H$ を降伏時の基準変位量 $d_y$ で除することにより無次元化したものである。また，**図**–5.11 に示す荷重変形量の関係は，変位量 $d_H$ をせん断スパン $a$ で除することにより無次元化した変形角で比較したものである。




**図**–5.8 Case 0 °載荷試験概略図



**写真**–5.5 Case 0 °載荷試験実施状況



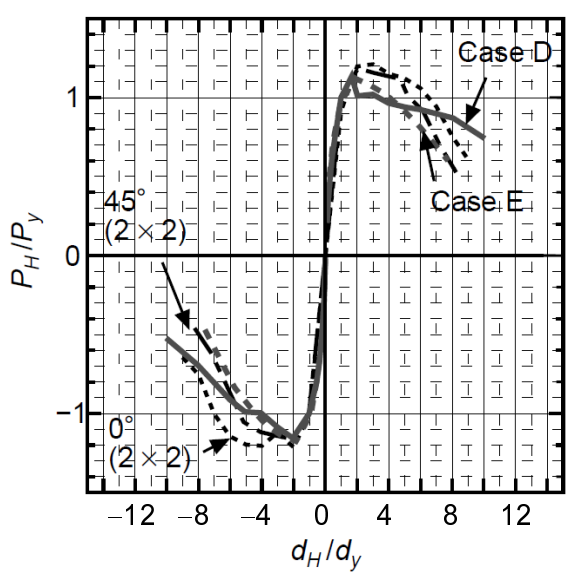

**図**–5.9 Case 45 °載荷試験概略図

**写真**–5.6 Case 45 °載荷試験実施状況

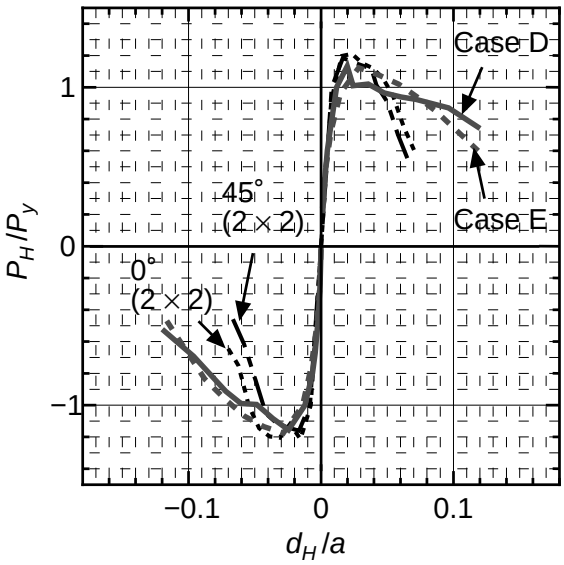
**図**–5.10，**図**–5.11 から，次のような傾向があることが分かる。Case 0 °と Case 45 °の結果から，載荷方向の違い (0 °載荷，45 °載荷) が終局変位の違いに現れており，45 °載荷の方が変位の低下が早く，終局変位が小さくなっている。これは，載荷方向の違いにより，杭体に発生する軸応力度が大きく異なってしまうためと考えられる。

また，SD490 を用いた Case E は，荷重が最大値に達した後はすぐに低下する傾向が見られる。これは，軸方向鉄筋のはらみ出しに伴い，鉄筋の一部分にひずみが集中することが原因と考えられる。なお，Case E は 45 °載荷であるため，終局変位が小さくなりやすい条件ではあるが，同じ 45 °載荷となっている Case 45 °と比べても，終局変位が小さくなっている。降伏点からの強度の上昇も小さく，高強度鉄筋の特性を良く反映した結果と考えられる。

これらの結果を考慮すると，SD490 を使用する場合は，従来の場所打ち杭基礎を用いた場合よりも許容塑性率を小さく評価する必要があると考えられる。その塑性率は，実験結果から 2 程度に制限しておくのが良いと考えられる。許容塑性率を 2 に制限することにより，最大強度点に対して，杭の変形性能及び杭の軸方向鉄筋が抜け出すことによるフーチング内定着部でのコンクリー




**図**–5.10 荷重–変位関係の包絡線の比較
(Case D，E，0 °，45 °)



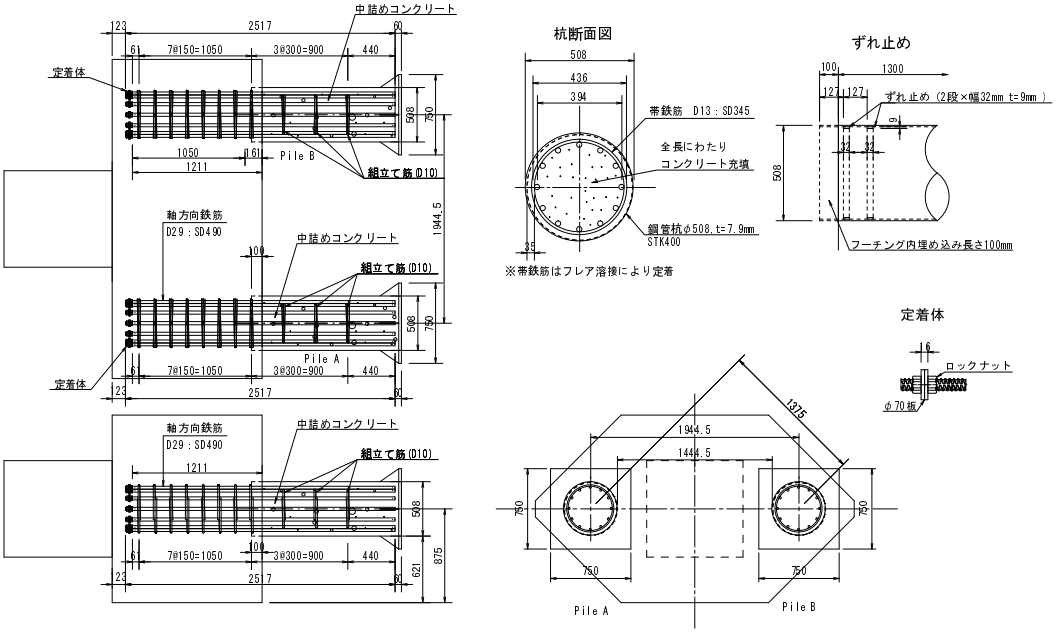

**図**–5.11 荷重–変形角関係の包絡線の比較
(Case D，E，0 °，45 °)

トの損傷のいずれの観点からも安全側の評価となる。これは，従来の許容塑性率の設定と同様に，強度低下が顕著でない範囲における最大強度点を目標に設定すること，降伏強度と同程度までに強度が低下する点 (Case E における塑性率 4) よりも安全率を 1.8 以上確保できるようにしたものである。なお，目標とした安全率の 1.8 とは，タイプ 2 地震動において，柱状体基礎の許容塑性率の計算に用いられる安全係数である。

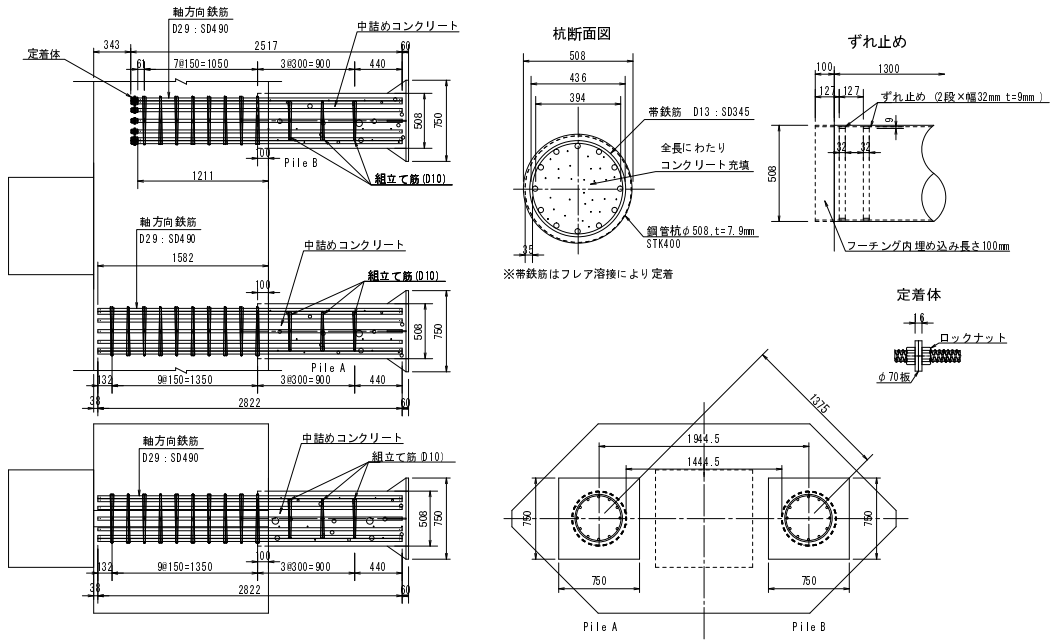
### 5.3.2　鋼管杭の組杭に対する水平方向載荷試験

前節に示した場所打ち杭の実験と同様な方法により，鋼管杭協会との共同研究において，鋼管杭基礎の杭頭結合を B 方法とした場合の組杭に対する水平方向載荷試験を行っている。

実験は 2 つの供試体に対して行われており，ひとつは，鋼管杭の場合のフーチング縁端距離の縮小を試みたもので，これを Case F とする。もうひとつは，現行の道路橋示方書[1)]に規定される




**図**–5.12 実験供試体配筋図 (Case F)




**図**–5.13 実験供試体配筋図 (Case G)

**表**–5.15 実験供試体の概要 (Case F，Case G)

| | | Case F | Case G |
|---|---|---|---|
| 杭種 | | 鋼管杭 | |
| 杭径 (mm) | | 508 | |
| 肉厚 (mm) | | 7.8 | |
| 軸力 (kN) | | 1200 | |
| コンクリート設計基準強度 ($N/mm^2$) | 杭体 | 30 | |
| | 躯体 | 30 | |
| 鉄筋 | 杭軸方向 | SD490 | |
| | 上記以外 | SD345 | |
| | 鉄筋配置 | D29-12 本 | |
| | 定着体 | 両方に使用 | 片方のみ使用 |
| フーチング厚 | | SD490 の必要定着長を 2/3 に縮小 | SD490 の必要定着長より決定 |
| フーチング縁端距離 | | 縮小 | 現行どおり |

**表**–5.16 コンクリートに関する材料試験結果 (Case F，Case G)

| Case | 圧縮強度 ($N/mm^2$) | 弾性係数 ($kN/mm^2$) | ポアソン比 | 引張強度 ($N/mm^2$) | 材令 (日) |
|---|---|---|---|---|---|
| F | 33.72 | 26.89 | 0.191 | 3.294 | 31 |
| G | 29.74 | 25.45 | 0.175 | 2.900 | 30 |

**表**–5.17 鉄筋に関する材料試験結果 (Case F，Case G)

| | 降伏荷重 (kN) | 最大荷重 (kN) | 降伏応力 ($N/mm^2$) | 降伏歪 ($\mu$) | 最大応力 ($N/mm^2$) | 弾性係数 ($kN/mm^2$) | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 杭軸方向鉄筋 SD490，ネジ節, D29 | 338.0 | 455.3 | 526.2 | 2698 | 708.8 | 195.0 | Case F, G |
| 杭帯鉄筋 SD345，横節, D16 | 77.7 | 117.2 | 391.4 | 2032 | 590.2 | 192.6 | Case F, G |
| フーチング主鉄筋 SD345，横節, D22 | 141.3 | 220.5 | 364.9 | 1890 | 569.5 | 193.1 | Case F, G |

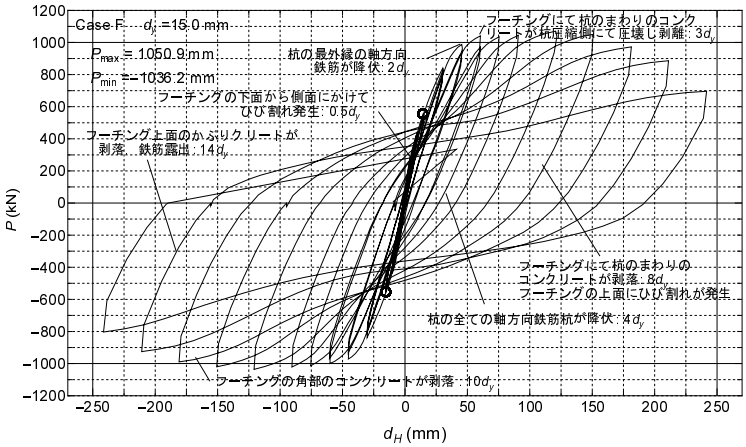
フーチング縁端距離を満足するようにしたもので，これを Case G とする。Case F，Case G ともに，杭頭補強筋の軸方向鉄筋に SD490 の高強度鉄筋を用いている。これらの配筋図を**図**–5.12 及び**図**–5.13 に，供試体概要を**表**–5.15 に示す。ここで，杭頭補強鉄筋の先端に定着体を用いているのは，高強度鉄筋の使用により，杭頭補強筋の軸方向鉄筋の定着長が長くなることから，鉄筋端部に定着体を設けて，引張鉄筋に対してフックを設けた場合と同様に考え，必要定着長を 2/3 に縮小した効果についても評価しようとしたものである。また，**表**–5.16，**表**–5.17 に，Case F, G の実験で用いたコンクリート及び鉄筋の材料試験結果を示す。

載荷は，場所打ち杭の実験と同様に行っているが，基準変位量 $1d_y$ の設定は，道路橋示方書から計算される鋼管杭の降伏荷重における変位量とした。

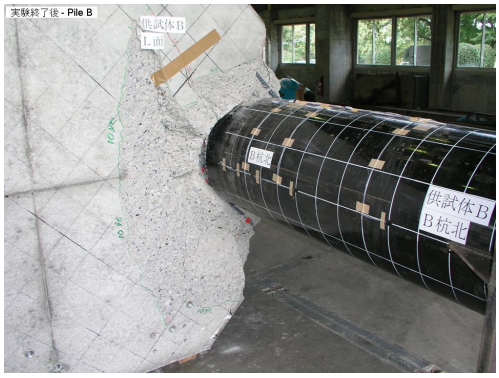
### (1) 実験結果

#### 1) Case F

杭体の軸方向鉄筋に SD490 を用い，フーチング縁端距離の縮小及び杭頭補強筋の鉄筋端部に定着体を取り付けてフーチング厚の縮小を図った Case F の載荷試験の荷重変位関係及び試験終了時における損傷状況を示す。




**図**–5.14 Case F：荷重変位関係




**写真**–5.7 Case F：試験終了時の杭とフーチング接合部の損傷状況

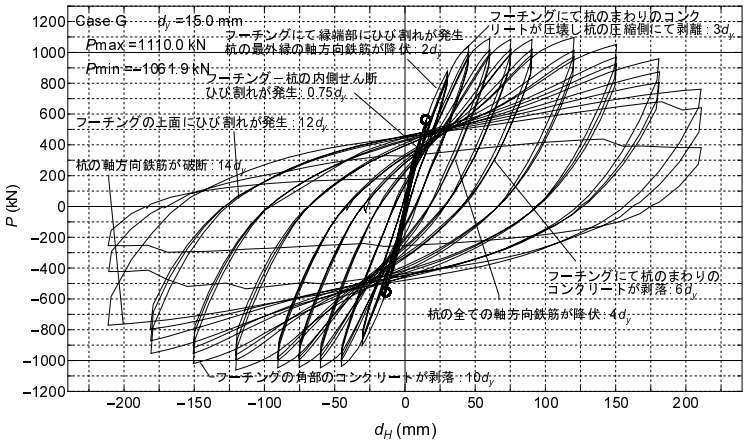
**写真**–5.8 Case F：試験終了時のフーチング上面の損傷状況

Case F の場合は，杭体周辺のコンクリートの損傷が大きく進展し，最終的には $14d_y$ で杭体がフーチングを押し込む鉛直方向への押抜きせん断破壊が生じる結果となった。これは，杭頭補強筋の端部に定着体を取り付けたことによる押込み側の支圧応力が原因となっているものと想定されるが，破壊の兆候が確認された $8d_y$ でフーチング上面にひび割れが発生しており，その後も耐力を維持していることから，設計計算上は大きな問題となるものではないと考えられる。

2) **Case G**

杭体の軸方向鉄筋に SD490 を用いる他は，道路橋示方書の規定に従って設計された Case G の載荷試験の荷重変位関係及び試験終了時における損傷状況を示す。

Case G では，2 本の杭体のうち片側の杭頭補強筋の端部に定着体を設けており，フーチング厚は，鉄筋をまっすぐ伸ばした時に必要な定着長を確保している。そのため，Case F で確認されたような破壊モードは認められず，破壊としては，フーチングのかぶりコンクリートが徐々に剥落し，$10d_y$ で大きくコンクリートが剥落した (**写真**–5.9)。その後，杭頭補強筋の軸方向鉄筋が露出～座屈し，最終的には $14d_y$ で破断に至った (**写真**–5.10)。




**図**–5.15 Case G：荷重変位関係

**写真**–5.9 Case G：試験終了時の杭とフーチング接合部の損傷状況

**写真**–5.10 Case G：試験終了時の杭頭補強筋の破断状況

### (2) 実験結果の評価

Case F，Case G のいずれの場合も，鋼管杭は最終荷重時まで降伏に至ることはなかった。最大強度発揮後の荷重低下は，Case F の場合は，杭体の損傷ではなく，杭頭補強筋とコンクリートの付着切れによるものと考えられる。また，Case G の場合は，杭頭補強筋へのひずみ集中による局部座屈が原因と考えられる。

両者では，破壊の性状こそ異なるが，いずれも $10d_y$ 程度まで最大強度を維持しており，SD490 の高強度鉄筋の適用，フーチング縁端距離の縮小，杭頭補強筋端部への定着体を適用し必要定着長を 2/3 に縮小するという条件を前提に作成された供試体 F も供試体 G と同様に高い変形性能を有していることが確認された。

高強度鉄筋の適用性について着目すると，高い変位レベルでフーチングのコンクリートが剥落し，杭頭補強筋が露出したことによって鉄筋が座屈～破断に至ったものと考えられる。したがって，コンクリートが杭頭補強筋を拘束している等，高強度鉄筋がコンクリート中に埋め込まれているような状態であれば，鉄筋が局所ではらみ出し，変形する事はなく，まっすぐな状態での強度や伸び性能のみが問題となるので，従来の SD295，SD345 等の鉄筋と同様に考えて，付着強度と鉄筋強度の関係を用いて設計すれば良いものと考えられる。

また，本実験では，現行の道路橋示方書で規定している鋼管杭基礎の許容塑性率 4 の範囲であれば，十分に最大耐力を発揮している状態であることからも，杭頭補強筋に SD490 の高強度鉄筋を使用した場合においても，従来どおりに許容塑性率 4 としておけば特に問題はないと考える。

## 5.4　設計基準強度 30 N/mm$^2$ のコンクリートの施工性確認

現行の道路橋示方書では，コンクリートの最低設計基準強度が定められており，鉄筋コンクリート部材では 21 N/mm$^2$ 以上とすることが規定されている。**表–5.18** に示すように，実際の橋梁下部構造は，24 N/mm$^2$ のコンクリートを標準とされている。**5.1.2** に示したとおり，今後，高強度鉄筋の標準化にあわせてコンクリートの設計基準強度を 30 N/mm$^2$ にする必要がある。しかし，コンクリートの基準強度引き上げに伴い，ひび割れリスクが大きくなる等，施工性や品質の観点で課題があるものと考えられる。そこで，コンクリート強度の違いが施工性及び品質に及ぼす影響を評価するため，道路橋下部構造のフーチングを対象に，コンクリートの設計基準強度を 30 N/mm$^2$ として試験施工を行った。

**表–5.18** 設計要領類に示される標準的な橋梁下部構造の設計基準強度

| 地方 | 参考図書 | | コンクリートの設計基準強度 ( N/mm$^2$ ) |
|---|---|---|---|
| 北海道開発局 | 道路設計要領 | 平成 19 年 | 24 |
| 東北地整 | 設計施工マニュアル | 平成 17 年 | 24 |
| 北陸地整 | 設計要領 | 平成 15 年 | 30 |
| 中部地整 | 道路設計要領 | 平成 20 年 | 24 |
| 中国地整 | 土木工事設計マニュアル | 平成 19 年 | 24 |
| 九州地整 | 土木工事設計要領 | 平成 19 年 | 24 |

### 5.4.1　コンクリートの設計基準強度に関するヒアリング

北陸地方整備局では，塩害の影響等が大きいこと等の理由から，密実なコンクリートを築造することを目的として，水セメント比 50 %以下，設計基準強度 30 N/mm$^2$ を標準としている。北陸地方整備局における施工実態ヒアリング調査では，設計基準強度を 30 N/mm$^2$ へと引き上げた後においても，施工性やひび割れ等の施工品質に関して特段に問題はないとの回答を得ているが，使用骨材の違いや施工者の違いなどの影響を考慮して，複数の地域の施工現場を対象として試験施工を実施することとした。

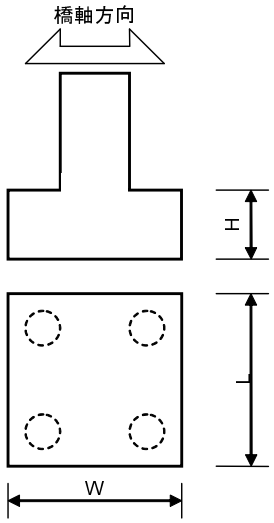
### 5.4.2　試験施工概要

試験施工は，橋梁下部構造のフーチングコンクリートの施工で，東北地方の 2 現場 (東北 A，東北 B とする)，近畿地方の 2 現場 (近畿 A，近畿 B とする)，九州地方の 1 現場 (九州 A とする) を対象とした。

これらの試験施工では，設計基準強度引き上げたことの影響を評価するため，同一工事内で同程度の規模のフーチングを選び，設計基準強度 24 N/mm$^2$ と 30 N/mm$^2$ のフーチングコンクリートを打設することとした。ここで，各工事におけるフーチングの寸法を**表–5.19** に示す。

**表**–5.19 試験施工対象フーチング諸元

| | 設計基準強度 24(N/mm²) | | 設計基準強度 30(N/mm²) | |
|---|---|---|---|---|
| | 下部構造番号 | フーチング寸法 W×L×H (m) | 下部構造番号 | フーチング寸法 W×L×H (m) |
| 東北 A | A1(24) | 13.3 × 7.0 × 2.0 | A2(30) | 13.0 × 7.0 × 2.0 |
| 東北 B | A1(24) | 11.5 × 4.5 × 1.6 | A2(30) | 17.2 × 10.0 × 1.7 |
| 近畿 A | P2(24) | 13.0 × 7.0 × 2.0 | P1(30) | 13.3 × 7.0 × 2.0 |
| | P4(24) | 8.4 × 5.4 × 2.2 | P3(30) | 8.4 × 6.5 × 2.2 |
| | P5(24) | 8.4 × 6.5 × 2.2 | P7(30) | 8.4 × 8.4 × 2.5 |
| | P6(24) | 8.4 × 8.4 × 2.5 | P8(30) | 8.4 × 7.6 × 2.2 |
| | | | P9(30) | 8.4 × 5.4 × 2.2 |
| 近畿 B | P1(24) | 8.4 × 8.4 × 2.1 | P2(30) | 8.4 × 8.4 × 2.1 |
| | P4(24) | 8.4 × 7.6 × 2.1 | P3(30) | 8.4 × 8.4 × 2.1 |
| | P9(24) | 8.4 × 6.0 × 2.1 | P5(30) | 8.4 × 7.6 × 2.1 |
| | P10(24) | 8.4 × 8.4 × 2.1 | P6(30) | 8.4 × 7.6 × 2.1 |
| | P11(24) | 8.4 × 5.4 × 2.1 | P7(30) | 8.4 × 6.0 × 2.1 |
| | | | P8(30) | 8.4 × 6.0 × 2.1 |
| 九州 A | P1(24) | 4.5 × 4.5 × 1.9 | P4(30) | 5.5 × 5.5 × 1.9 |
| | P2(24) | 5.5 × 5.5 × 1.9 | P5(30) | 4.5 × 4.5 × 1.9 |
| | P3(24) | 5.5 × 5.0 × 1.9 | P6(30) | 5.5 × 6.0 × 1.9 |
| | | | A1(30) | 4.5 × 4.5 × 1.9 |




**図**–5.16 フーチング諸元の模式図

### 5.4.3 配合試験結果

各試験施工における配合設計の結果を**表**–5.20 に示す。これより以下のことが分かる。

全ての試験施工で高炉セメント B 種が使用されており，その配合強度は呼び強度の 2 割から 3 割増しで設定されている。AE 減水剤を使用する場合，設計基準強度を 24 から 30 N/mm$^2$ へ引き上げることによって，単位セメント量は 15 %程度増加する。

なお，近畿 A では，高性能 AE 減水剤を使用し，水セメント比の低減を図っている。これは，コンクリートの品質及び耐久性の向上を図るための技術提案のひとつとして，高性能 AE 減水剤の使用により単位水量を減少させ，コンクリートの水セメント比を要求 (水セメント比 55 %以下) よりも低めの 52 %以下とするよう設定したためである。したがって，24 N/mm$^2$ における配合は水セメント比の上限値から設定されているものであり，配合強度が大きくなっている。

### 5.4.4 発現強度の確認

通常の施工で行われるコンクリートの品質管理記録から，7 日，28 日時の発現強度に着目して結果を整理した。ここで，発現強度とは，いずれもレディーミクストコンクリートを現場で採取した供試体を標準養生したものの強度である。ここから，次のことが分かる。

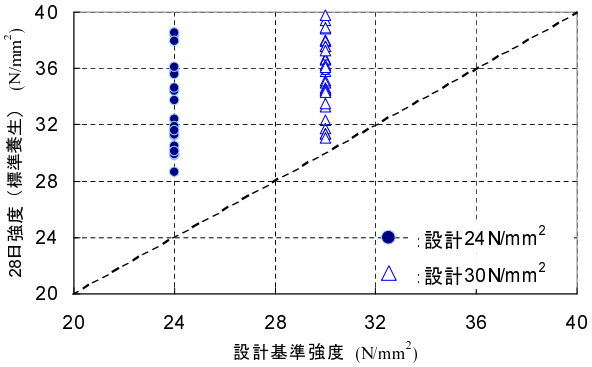
24 N/mm$^2$，30 N/mm$^2$ のいずれの場合も，標準養生における発現強度の傾向はよく似ている。7 日強度においては，概ね設計基準強度の 60～80 %程度の強度が発現し，そのばらつきは 10%程度である。28 日強度では 24 N/mm$^2$ の場合で，設計基準強度に対して 1.2～1.5 倍程度に達するのに対して，30 N/mm$^2$ の場合は，1.1～1.3 倍程度の範囲にあり，そのばらつきは 10 %以下であった。

**表–5.20** コンクリートの配合設計

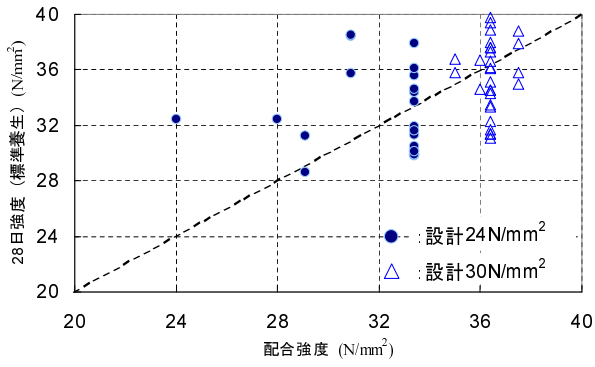
| | 設計基準強度 ($N/mm^2$) | 呼び強度 ($N/mm^2$) | スランプ (cm) | 粗骨材の最大寸法 (mm) | セメント種類 | 単位セメント量 ($kg/m^3$) | W/C (%) | 混和剤 | 配合強度 ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 東北 A | 24 | 24 | 8 | 25 | BB | 297 | 50.5 | AE 減水剤 1.0 % | 29.1 |
| | 30 | 30 | 8 | 25 | BB | 342 | 44.5 | AE 減水剤 1.0 % | 36.0 |
| 東北 B | 24 | 24 | 8 | 25 | BB | 300 | 55.0 | AE 減水剤 1.0 % | 28.0 |
| | 30 | 30 | 8 | 25 | BB | 337 | 49.5 | AE 減水剤 1.0 % | 35.0 |
| 近畿 A | 24 | 24 | 8 | 40 | BB | 290 | 52.0 | 高性能 AE 減水剤 0.8 % | 33.4 |
| | 30 | 30 | 8 | 40 | BB | 308 | 49.4 | 高性能 AE 減水剤 0.8 % | 36.4 |
| 近畿 B | 24 | 24 | 8 | 40 | BB | 290 | 52.0 | 高性能 AE 減水剤 0.8 % | 33.4 |
| | 30 | 30 | 8 | 40 | BB | 308 | 49.4 | 高性能 AE 減水剤 0.8 % | 36.4 |
| 九州 A | 24 | 24 | 8 | 20 | BB | 314 | 51.8 | AE 減水剤 0.5 % | 30.9 |
| | 30 | 30 | 8 | 20 | BB | 358 | 45.2 | AE 減水剤 0.5 % | 37.5 |

24 $N/mm^2$ で強度が若干高めに出たのは，例えば，近畿 A のように，水セメント比の上限値 (技術提案で $W/C$ ≤52 %に設定) で配合強度が決定するケースがあったためと考えられる。

また，配合強度に対する発現強度の大きさに着目すると，24 $N/mm^2$，30 $N/mm^2$ のいずれも，ほぼ配合強度どおりに 28 日強度が発現している。また，そのばらつきも 10%程度であった。標準養生供試体の 28 日強度に対して構造物のコア供試体の強度は 90 %程度に低下すること，強度のばらつきが 10 %程度であることを考慮すると考えると，コンクリートの配合強度を設計基準強度の 1.2 倍程度に設定しておくことは，実構造物のコンクリートが設計基準強度以上であることを保証する妥当なレベルであると考えられる。単純に言えば，設計基準強度 30 $N/mm^2$ のコンクリートが指定されれば，実施工では，36 $N/mm^2$ 程度の強度を目標とする配合のコンクリートを打設することになる。




**図–5.17** 設計基準強度と 28 日強度の関係




**図–5.18** 配合強度と 28 日強度の関係

**表**–5.21 標準養生によるコンクリートの発現強度 (※：単位は N/mm$^2$)

| | 下部構造 | 供試体No. | 基準強度 | 配合強度 | $\sigma$7 | $\sigma$28 | | 下部構造 | 供試体No. | 基準強度 | 配合強度 | $\sigma$7 | $\sigma$28 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 東北A | A1(24) | 1 | 24 | 29.1 | 16.7 | 28.6 | 近畿B | P3(30) | 1 | 30 | 36.4 | 23.7 | 38.9 |
| | | 2 | | | 17.3 | 31.2 | | | 2 | | | 21.6 | 37.6 |
| | A2(30) | 1 | 30 | 36.0 | 20.8 | 36.7 | | P4(24) | 1 | 24 | 33.4 | 18.4 | 37.9 |
| | | 2 | | | 19.5 | 34.6 | | | 2 | | | 17.1 | 36.1 |
| 東北B | A1(24) | 1 | 24 | 28.0 | 18.5 | 32.4 | | P5(30) | 1 | 30 | 36.4 | 19.8 | 34.5 |
| | A2(30) | 1 | 30 | 35.0 | 23.8 | 35.8 | | | 2 | | | 18.8 | 31.4 |
| | | 2 | | | 24.5 | 36.8 | | P6(30) | 1 | 30 | 36.4 | 16.7 | 31.3 |
| 近畿A | P1(30) | 1 | 30 | 36.4 | 19.4 | 36.2 | | | 2 | | | 16.9 | 31.6 |
| | | 2 | | | 21.3 | 38.0 | | P7(30) | 1 | 30 | 36.4 | 16.9 | 31.4 |
| | P2(24) | 1 | 24 | 33.4 | 17.1 | 31.9 | | | 2 | | | 18.1 | 31.1 |
| | | 2 | | | 15.5 | 29.8 | | P8(30) | 1 | 30 | 36.4 | 20.1 | 37.3 |
| | P3(30) | 1 | 30 | 36.4 | 22.2 | 39.4 | | | 2 | | | 19.1 | 36.1 |
| | | 2 | | | 19.1 | 35.1 | | P9(24) | 1 | 24 | 33.4 | 16.7 | 31.3 |
| | P4(24) | 1 | 24 | 33.4 | 20.3 | 35.6 | | | 2 | | | 16.9 | 31.6 |
| | P5(24) | 1 | 24 | 33.4 | 16.9 | 33.7 | | P10(24) | 1 | 24 | 33.4 | 16.1 | 30.1 |
| | P6(24) | 1 | 24 | 33.4 | 15.9 | 30.1 | | | 2 | | | 15.6 | 30.5 |
| | | 2 | | | 16.4 | 29.9 | | P11(24) | 1 | 24 | 33.4 | 18.2 | 29.9 |
| | P7(30) | 1 | 30 | 36.4 | 17.9 | 33.3 | | | 2 | | | 15.5 | 30.1 |
| | | 2 | | | 18.3 | 34.5 | 九州A | P1(24), P2(24) | 1 | 24 | 30.9 | 19.1 | 38.4 |
| | P8(30) | 1 | 30 | 36.4 | 20.8 | 36.6 | | | 2 | | | 15.9 | 35.7 |
| | | 2 | | | 21.8 | 37.6 | | P3(24) | 1 | 24 | 30.9 | 18.8 | 38.5 |
| | P9(30) | 1 | 30 | 36.4 | 17.9 | 32.3 | | P4(30), P5(30) | 1 | 30 | 37.5 | 21.1 | 37.9 |
| | | 2 | | | 18.0 | 31.7 | | | 2 | | | 17.2 | 35.0 |
| 近畿B | P1(24) | 1 | 24 | 33.4 | 18.3 | 34.4 | | P6(30), A1(30) | 1 | 30 | 37.5 | 27.5 | 38.8 |
| | | 2 | | | 17.1 | 34.6 | | | 2 | | | 25.4 | 35.8 |
| | P2(30) | 1 | 30 | 36.4 | 23.6 | 44.6 | | | | | | | |
| | | 2 | | | 19.4 | 39.8 | | | | | | | |

**表**–5.22 基準強度または配合強度に対する発現強度比

| | $\sigma$7 /基準強度 | | $\sigma$28 /基準強度 | | $\sigma$28 /配合強度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 24 N/mm$^2$ | 30 N/mm$^2$ | 24 N/mm$^2$ | 30 N/mm$^2$ | 24 N/mm$^2$ | 30 N/mm$^2$ |
| 平均値 | 0.72 | 0.68 | 1.37 | 1.20 | 1.02 | 0.99 |
| 最小値 | 0.65 | 0.56 | 1.19 | 1.04 | 0.89 | 0.85 |
| 最大値 | 0.85 | 0.92 | 1.60 | 1.49 | 1.25 | 1.23 |
| 標準偏差 | 0.05 | 0.09 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.08 |
| 変動係数 | 0.08 | 0.13 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.08 |

### 5.4.5 養生方法

各試験施工におけるコンクリート打設後の養生方法を**表**–5.23 に示す。養生マットによる湿潤養生は共通しているが，その期間の設定方法は様々である。技術提案のひとつとして，温度応力解析により養生方法・期間の検討を行ったり，温度計測により養生完了の目安とする施工例もある。

**表**–5.23 各試験施工で実施された養生方法

| | 養生方法 | 養生方法，期間の決定方針 |
|---|---|---|
| 東北 A | ・ 養生マット設置による湿潤養生 | ・ コンクリート内外の温度差が 20 ℃以上にならないよう散水養生（技術提案）<br>・ 温度計測を実施，温度計測結果を養生終了の目安とする |
| 東北 B | ・ 養生マット設置による湿潤養生<br>・ 型枠脱枠後の気泡緩衝シートによる養生（技術提案） | ・ 散水，養生マット，気泡緩衝材により湿潤状態を保ち，温度測定によりコンクリートの温度変化が比較的安定するまでを目安に養生期間を設定（養生期間を 10 日間)。<br>・ 圧縮強度試験において呼び強度の 65 %以上（7 日強度）を確認し，脱枠する。 |
| 近畿 A | ・ 養生マット設置による湿潤養生 | ・ 温度応力解析から妥当性を確認（技術提案） |
| 近畿 B | ・ 養生マット設置による湿潤養生 | ・ 温度応力解析から妥当性を確認（技術提案） |
| 九州 A | ・ 直射日光防止のブルーシート<br>・ 養生マット設置による湿潤養生 | ・ 養生期間はコンクリート標準示方書の湿潤養生の標準日数より設定 |

### 5.4.6 コンクリート施工記録

コンクリートの施工記録を**表**–5.24 及び**表**–5.25 に示す。ここでは試験施工別に施工条件と結果について考察する。

#### (1) 東北 A

A1(24) と A2(30) の施工は，型枠の残置期間以外はほぼ同一条件であった。コンクリート打設後の養生は，散水および養生マットによる湿潤養生を実施し，その期間は 21 日で，他の試験施工に比べて養生期間が長い。この期間の設定は，コンクリートの表面付近の温度測定を実施し，外気温と同程度になるまで養生を行う計画となっていたものである。いずれのフーチングにもひび割れは観察されなかった。

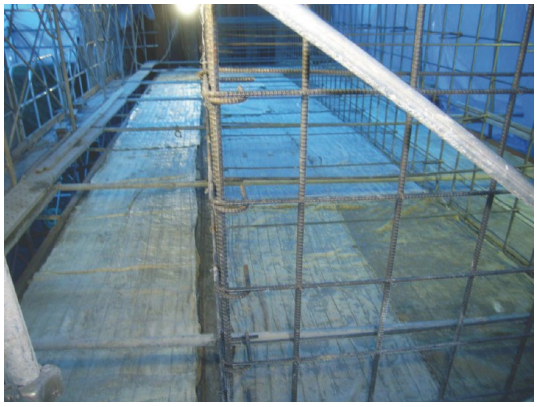
**写真**–5.11 東北 A：養生状況

**写真**–5.12 東北 A：フーチング施工完了

### (2) 東北 B

A1(24) と A2(30) の施工時期が大きく異なっている。A1(24) は冬期の施工となっており，養生は，養生マットによる湿潤養生の他，ジェットヒーターによる温度養生が行われていた。養生期間も長く，型枠脱枠後も湿潤養生，温度養生を行っている。結果として，フーチングコンクリートにひび割れは確認されなかった。

一方，A2(30) は，比較的暖かい時期にコンクリートが打設された。養生方法は，養生マットによる湿潤養生が 18 日間と比較的長い期間行われていた。また，型枠脱枠後には気泡シート巻き付けにより温度変化に配慮した養生が行われたようである。結果としては，ひび割れは生じなかったものの，数箇所に豆板 (ジャンカ) が確認された。A2(30) の施工は，コンクリートの出荷～打設までの時間が長く，また，フーチング寸法が大きい (約 300 $m^3$) ことが影響していると考えられるが，打設速度が他の試験施工と比較して速いことから，コンクリートの投入時に材料分離が一部生じていた可能性も考えられる。

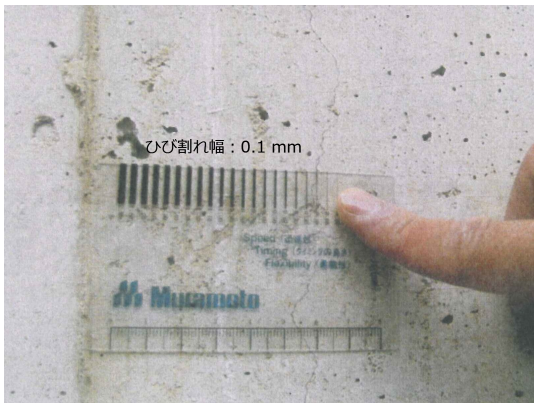


**写真**–5.13 東北 B：養生状況

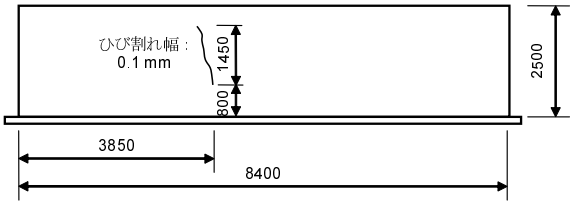
**写真**–5.14 東北 B：豆板発生状況

### (3) 近畿 A

近畿 A は，24 N/$mm^2$，30 N/$mm^2$ の天候，気温，施工方法や養生方法及び期間などの施工条件に大きな違いはない。養生は養生マットを敷設し，散水により湿潤状態を保つよう行われた。P1(30) において，型枠脱枠 7 日後調査で最大幅 0.1mm 程度のひび割れが 2 箇所確認された。これらのひび割れは，**図**–5.19 に示すように，フーチング側面から見て中央付近に発生している。また，P6(24) で型枠脱枠 14 日後の調査で 0.1mm 程度のひび割れが確認された。近畿 A の場合は，使用するコンクリートの水セメント比 $W/C \leq 52$ % に制限しているため，24 N/$mm^2$ で使用するコンクリートの強度が上がっており，30 N/$mm^2$ と特性がほとんど同じになっていた可能性が考えられる。その他，軽微な豆板が確認されているが，有害なひび割れ等は確認されなかった。



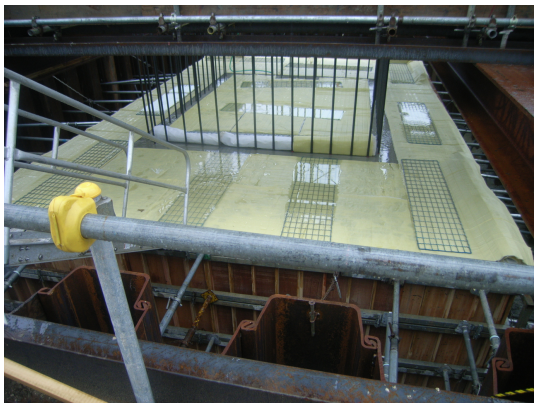

**写真**–5.15 近畿 A：P6 (30) のひび割れ状況




**図**–5.19 近畿 A：P6(30) のひび割れスケッチ

### (4) 近畿 B

近畿 B は，近畿 A と同一地域・路線施工条件，養生方法，期間などの条件は近畿 A と同様であった。P10(24) で 0.1 mm のひび割れが 1 箇所発生したが，その他は 30 N/mm$^2$ のコンクリートを使用したフーチングでもひび割れが確認されなかった。30 N/mm$^2$ の施工では，打設中のブリーディング水が少なく，コンクリートの硬化時間がはやい印象で，コンクリート天端の仕上げ作業などは短時間で行うことが可能になるなど，施工性が良くなる面も感じられたようである。



**写真**–5.16 近畿 B：養生状況

**写真**–5.17 近畿 B：フーチング外観

### (5) 九州 A

九州 A における 30 N/mm$^2$ の試験施工は，施工時期が気温 30 ℃以上となっており，コンクリート打設には非常に厳しい環境となっていた。30 N/mm$^2$ のコンクリートの施工時は，24 N/mm$^2$ の施工に比べると，施工そのものに大きな違いはないが，コンクリートの硬化速度が若干はやいようである。このため，通常，コンクリート打設翌日から始める湛水養生を，打設当日より開始し，湛水回数を増やす等の対応を行っていた。また，直射日光を防ぐため，打設したコンクリートをシートで覆うなどの養生が行われた。型枠脱枠後も養生マットによる湿潤養生を実施している。結

果としては，いずれのフーチングにもひび割れの発生はなかった。

**写真**–5.18 九州 A：湛水養生状況

**写真**–5.19 九州 A：フーチング外観

**表–5.24** コンクリートの施工記録 (1)

| | 記号 | 基準強度 | 打設日 | 天候 | 気温 ℃ | 出荷～打設時間 (min) | 打上げ高さ (cm) | 打設速度 ($m^3$/ 時間) | 養生方法 | 養生期間 (日) | 型枠残置日数 | 外観調査 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 東北 A | A1(24) | 24 | 7 月 11 日 | 曇 | 25 | 5 | 45 | 35 | 側面散水養生<br>養生マット湿潤 | 3<br>21 | 21 | ひび割れなし |
| | A2(30) | 30 | 7 月 18 日 | 曇 | 26 | 5 | 45 | 35 | 側面散水養生<br>養生マット湿潤 | 3<br>21 | 7 | ひび割れなし |
| 東北 B | A1(24) | 24 | 12 月 1 日 | 晴 | 8 | 35 | 45 | 17 | ジェットヒーター<br>養生マット湿潤<br>気泡シート養生 (脱枠後) | 16<br>22<br>2 | 12 | ひび割れなし |
| | A2(30) | 30 | 9 月 17 日 | 晴 | 22～26 | 53 | 45 | 44 | 散水養生<br>養生マット湿潤<br>気泡シート養生 (脱枠後) | 8<br>18<br>10 | 8 | ひび割れなし<br>豆板× 5 箇所 |
| 近畿 A | P1(30) | 30 | 10 月 20 日 | 晴 | 20～26 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | 0.1mm × 2 箇所 |
| | P2(24) | 24 | 10 月 10 日 | 晴 | 17～27 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし<br>豆板× 2 箇所 |
| | P3(30) | 30 | 10 月 21 日 | 晴 | 18～22 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし |
| | P4(24) | 24 | 10 月 27 日 | 晴 | 17～21 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし |
| | P5(24) | 24 | 10 月 29 日 | 晴 | 17～20 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし |
| | P6(24) | 24 | 10 月 1 日 | 曇<br>晴 | 20～26 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | 0.1mm × 1 箇所 |
| | P7(30) | 30 | 10 月 2 日 | 曇<br>晴 | 19～24 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし |
| | P8(30) | 30 | 10 月 6 日 | 晴 | 22～24 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし<br>豆板× 2 箇所 |
| | P9(30) | 30 | 10 月 8 日 | 晴 | 18～25 | 60 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 7 | ひび割れなし<br>豆板× 1 箇所 |

## 表–5.25 コンクリートの施工記録 (2)

| | 記号 | 基準強度 | 打設日 | 天候 | 気温 ℃ | 出荷～打設時間 (min) | 打上げ高さ (cm) | 打設速度 ($m^3$/ 時間) | 養生方法 | 養生期間 (日) | 型枠残置日数 | 外観調査 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 近畿 B | P1(24) | 24 | 11 月 26 日 | 晴 | 12～16 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 9 | 6 | ひび割れなし |
| | P2(30) | 30 | 12 月 17 日 | 晴 | 10～13 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P3(30) | 30 | 11 月 6 日 | 曇 | 13～23 | 50 | | 20 | 養生マット湿潤 | 7 | 6 | ひび割れなし |
| | P4(24) | 24 | 10 月 28 日 | 曇 | 13～21 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P5(30) | 30 | 10 月 18 日 | 曇 | 23～25 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P6(30) | 30 | 10 月 10 日 | 曇 | 19～29 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P7(30) | 30 | 10 月 8 日 | 曇 | 23～25 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P8(30) | 30 | 12 月 6 日 | 晴 | 11～12 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P9(24) | 24 | 10 月 2 日 | 曇 | 21～24 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | ひび割れなし |
| | P10(24) | 24 | 9 月 25 日 | 曇 | 22～26 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | 0.1mm × 1 箇所 |
| | P11(24) | 24 | 9 月 18 日 | 曇 | 29 | 50 | 50 | 20 | 養生マット湿潤 | 8 | 6 | 豆板× 1 箇所<br>沈下クラック |
| 九州 A | P1(24) | 24 | 9 月 25 日 | 曇 | 26 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 11<br>11 | 5 | ひび割れなし |
| | P2(24) | 24 | 9 月 25 日 | 曇 | 26 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 11<br>11 | 5 | ひび割れなし<br>豆板× 1 箇所 |
| | P3(24) | 24 | 9 月 19 日 | 曇 | 26 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 11<br>11 | 5 | ひび割れなし<br>豆板× 1 箇所 |
| | P4(30) | 30 | 7 月 23 日 | 晴 | 33 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 9<br>9 | 5 | ひび割れなし |
| | P5(30) | 30 | 7 月 23 日 | 晴 | 33 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 9<br>9 | 5 | ひび割れなし |
| | P6(30) | 30 | 7 月 11 日 | 晴 | 30 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 10<br>10 | 6 | ひび割れなし |
| | A1(30) | 30 | 7 月 11 日 | 晴 | 30 | 20 | 50 | 15 | 養生マット湿潤<br>直射日光防止 | 10<br>10 | 6 | ひび割れなし |

### 5.4.7　結果の考察

試験施工の結果を総括する。

1)　**供給されるコンクリートの品質**　一部の工場で，下部構造で指定されたスランプ等の仕様を満足する設計基準強度 30 N/mm$^2$ のコンクリートの供給実績が少なかったようであるが，従来の 24 N/mm$^2$ と同じ材料を使用し，発現強度についても，配合設計で想定したばらつきの範囲にあるものと考えられる。したがって，コンクリートの供給に関しては，特に支障はないと考えられる。

2)　**コンクリートの施工及び養生**　一般に，コンクリートの強度が上がりセメント量が増加すると，粘りが出るため，同じスランプであってもポンプの圧送性に違いが出る恐れがあったが，今回の試験施工では，24 N/mm$^2$ と 30 N/mm$^2$ のコンクリートで，スランプは特に変更されなかったが，施工性に関しては特に問題なかったようである。

また，硬化速度に着目すると，今回の試験施工では，50 m$^3$～300 m$^3$ まで様々な規模のフーチングを対象に行われたが，これ以上の規模となる場合や，配筋が過密でコンクリート打設に時間を要してしまう場合は，コールドジョイントが生じやすくなる等が懸念される。このような懸念に対する提案としては，例えば，フーチング上面の鉄筋配置間隔を，最低でも 150 mm 間隔にするなど，コンクリートポンプ車のホース径 (10 吋) 程度を確保できるようにして，施工効率の向上を図る等の方法も考えられる。

3)　**コンクリートの施工品質**　設計基準強度を 30 N/mm$^2$ とした試験施工の結果では，いずれの現場においても，有害なひび割れ等の問題は確認されなかった。

4)　**まとめ**　北陸地整においては既に下部構造のコンクリート設計基準強度を 30 N/mm$^2$ で運用されており，これに対する施工及び品質上の問題点も特に表面化していないことや，本研究における試験施工の結果を考慮すると，SD390，SD490 等の高強度鉄筋と組み合わせるコンクリートの強度を 30 N/mm$^2$ に引き上げたとしても，施工及び品質確保の観点からは，特に問題はないものと考える。

特に規模が大きなフーチングや，施工条件が厳しく，効率よくコンクリートの打設が出来ない条件等では，コンクリートの高強度化による硬化速度の早さが影響する可能性もあるが，配筋等の構造細目を見直すなどにより施工効率を改善する等の工夫により，対応可能であると考える。

# 第6章　施工性及び品質向上に資する構造細目の提案

## 6.1　場所打ち杭の品質向上に資する構造細目

### 6.1.1　鉄筋かご組立て時における溶接

場所打ち杭の鉄筋組立は，橋台や橋脚のようにその設置位置で一本ずつ組み立てるのではなく，場外または場内の加工場にて鉄筋かごなるユニットをあらかじめ組立てておき，杭位置の地盤を削孔した後に鉄筋かごの建込み～鉄筋かごのユニット同士の接続を繰返し，最後にコンクリートを打設して所定の長さの場所打ち杭を築造する。

鉄筋かごの組立ては，保管，運搬や吊起し及び建込み時に変形しないように十分堅固にする必要がある。これを防止するため，鉄筋かごの組立て時には組立用の補強材 (鉄筋または形鋼) を適当な間隔に設置して，主鉄筋を固定する。さらに，主鉄筋と帯鉄筋を接合し，かぶり確保のためのスペーサーを取付けて鉄筋かごを組立てる。

現場でのヒアリング調査によれば，結束のみで鉄筋かごを組立てることは，吊起し・建込み時の形状保持の観点から施工できないとの意見が多数を占めており，組立用の補強材と主鉄筋，主鉄筋と帯鉄筋，あるいはスペーサー取付け時には，点付溶接，フレア溶接により固定される場合が多いようである。

従来，鉄筋への点付溶接は，局部的な加熱による材質変化をもたらし，疲労性能を大きく低下させるとの認識もあったようだが，疲労性能に限らず，引張強度，伸び性能等，鉄筋の性能全般の低下が確認されている。例えば，文献[38)]では，場所打ち杭の主鉄筋に溶接を行った場合の影響を調べるため，1) 主鉄筋と帯鉄筋をスポット溶接した供試体，2) 主鉄筋と補強材 (フラットバー) をフレア溶接した供試体，3) 主鉄筋の生材，の 3 つについて，引張試験が行った結果，1) 主鉄筋にスポット溶接，2) 主鉄筋にフレア溶接を行った供試体は，主鉄筋の降伏後，すぐに破断する脆性的な破壊することが報告されている。

道路橋示方書[1)]では，主鉄筋と帯鉄筋との接合は，溶接やなまし鉄線により行うと解説されており，溶接に関しては，断面減少などを生じないように注意して作業を行わなければならないと記述されている。しかし，実際に断面減少や性能劣化を起こさずに溶接作業を行うことは難しく，特に，現場での組立作業では，施工者の技量や天候等の影響が性能劣化の要因となりうる。また，コンクリート標準示方書 (2007 年)[7)]では，鉄筋の加工について，鉄筋は溶接を行わないことを原則とする，という条文が追加されている。溶接による鉄筋の性能低下を懸念したものである。

基礎としての杭は，特に地震時において杭頭付近に大きな曲げモーメントを受ける。また，杭頭部に塑性化を許容する設計を行う場合もあることから，主鉄筋への溶接は本質的には避けるべ

きことである。

### 6.1.2　他機関における場所打ち杭の無溶接工法への取り組み

鉄筋への溶接の施工および管理の難しさ，材質劣化への懸念は，多くの技術者が認識していながら，それに代わる方法がなかなか提案されない状況である。都市再生機構では，場所打ち杭の無溶接工法に取り組んでいる[39)]。以下に概要を示す。

#### (1)　主筋と補強材の接合

主筋と補強材の接合には，特殊金物を用いて機械的に両者を緊結する方法と，主筋に添え鉄筋を結束し，添え鉄筋と補強材をフレア溶接する方法が提案されている。これらは，杭径や鉄筋かご重量に応じて適切な剛性保持性能を有する接合方法を採用する必要がある。

#### (2)　主筋と帯鉄筋，スペーサー等の接合

主筋と帯鉄筋の接合には，結束線による接合が主となる。また，丸鋼をクリップ状にした金物も開発されているようである。帯鉄筋は，フック付きの重ね継手，または帯鉄筋の機械式継手を用いて接合することが提案されているが，鉄筋径が大きくなったときの施工性や金物のコストに課題があるようである。スペーサーについては，鋼製のスペーサーを補強材に溶接し，主鉄筋と直接溶接しないような金物を用いているようである。

#### (3)　コストの低減

無溶接工法は，接合用の特殊金物が必要となりるため，コストの負担増が最も懸念される。これらの無溶接工法は，4 年間の試行錯誤が繰り返され，従来の溶接を用いる工法に比べて当初は 20%増しだったものが，2～10%程度にまで下がってきたとの事である。

都市再生機構では，このような試行の結果，平成 15 年度末以降に発注した全ての場所打ち杭に，無溶接工法を採用することとなった。ここで紹介されている無溶接工法は，課題も残してはいるものの，今後，より良い特殊金物の開発や低価格化により工法の普及が期待されている。

### 6.1.3　道路橋における場所打ち杭の鉄筋かごの組立てについての提案

道路橋の杭基礎の設計では，橋脚が十分に大きな終局水平耐力を有している場合や，液状化が生じる場合など，大きな地震動に対して，基礎の塑性化を許容した設計を行う場合がある。通常のレベル 2 地震時における杭基礎の設計でも，全ての杭において杭体が塑性化する時を念頭に，基礎の照査が行われる。これらの設計は，杭の変形性能や，杭の一部が塑性化しても基礎として直

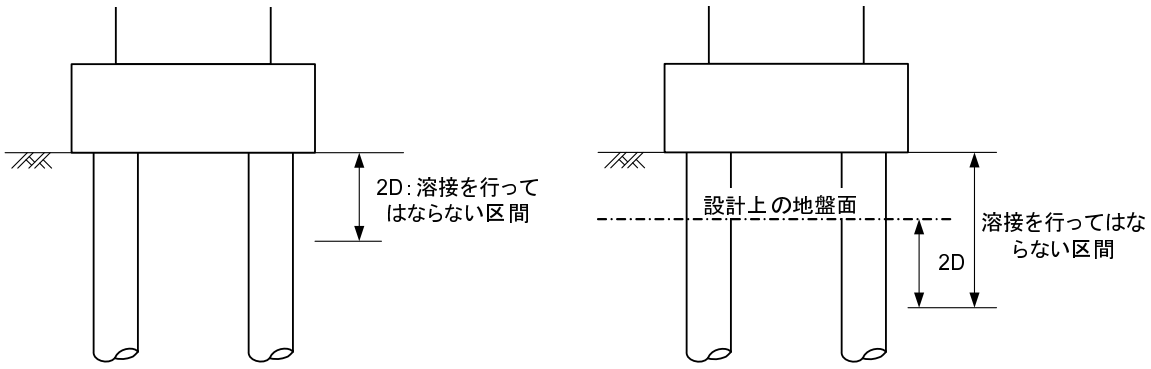
ちに耐力低下にはつながらないことが確認されているためである。ところが，杭を構成する鉄筋が溶接による性能低下の影響で，降伏直後に破断するような破壊形態が生じれば，前述のような設計が成立しない可能性がある。以上を考慮して，本資料では，場所打ち杭の鉄筋かごの組立てにおいては，以下の項目を遵守することを提案する。

### (1) 場所打ち杭の鉄筋かご組立てにおける軸方向鉄筋の取り扱い

鉄筋の組立てでは原則として主鉄筋への溶接を行わない。場所打ち杭の鉄筋かごの組立ては，補強材を配置して，確実に形状保持ができるよう結束線を用いた接合や，特殊金具等により機械的に接合する等，主鉄筋を直接溶接しない方法により組立てる。ただし，組立てた鉄筋かごの重量が特に大きい等の理由により，吊起し，建込み時における形状保持が困難である場合は，溶接を行ってはならない範囲を除いて，以下の方法によることができる。

- やむを得ず主鉄筋への溶接を行う場合は，適切な溶接技術を有する技能者が行うものとする。このとき，担当する技能者があらかじめ，実際の施工と同じ条件で作成した供試体モデルを用いて，外観検査及び引張試験を行い，溶接箇所に欠陥がなく，降伏点，引張強さが母材の JIS 規格値以上で，母材で破断することを確認する。
- 主鉄筋と溶接する鋼材が鉄筋である場合，不十分な点付溶接となってしまう可能性が高いので，鉄筋同士の溶接は行ってはならない。主鉄筋と溶接する鋼材は，十分な溶接長を確保できる鋼材を用いるものとする。
- 溶接作業は，環境条件や施工姿勢等が施工品質に大きく影響するので，屋内加工場等の天候の影響を受けにくい環境や，安定した作業スペースを確保して行うことが望ましい。
- 鋼材に炭素量の多い鉄筋は溶接性に対するリスクが高くなるため，高強度鉄筋 SD490 の溶接は，いかなる理由があっても行ってはならない。

ここで，溶接を行ってはならない範囲とは，**図**–6.1 に示すように，杭に大きな応力が作用する塑性ヒンジ領域で，少なくともフーチング底面または耐震設計上の地盤面のいずれか深い方から下に杭径の 2 倍の範囲以上を確保することを原則とする。杭径の 2 倍の範囲については，現行の




**図**–6.1 場所打ち杭の軸方向鉄筋に溶接を行ってはならない区間

道路橋示方書[1)]においても，この範囲については帯鉄筋の中心間隔を 150 mm 以下として十分な補強を行うよう規定していることも参考に範囲を提案した。

### (2) 場所打ち杭の鉄筋かご組立てにおける帯鉄筋の取り扱い

現行の道路橋示方書[1)]下部構造編にしたがえば，場所打ち杭の帯鉄筋はフックを付けて定着することが原則である。しかし，杭径が小さく帯鉄筋径が太い場合に帯鉄筋のフックとコンクリート打設時にトレミー管が干渉する等，施工性が悪くなる場合がある。道路橋示方書[1)]では，強度を確実に伝達できるように十分な施工管理を行ったうえで，溶接継手の使用を許容している。

溶接が鉄筋の性能劣化に及ぼす影響を考慮すると，できる限りこれを避けることが望ましく，一般には，杭径が 1.0 m～1.2 m 程度になるとフック付きの帯鉄筋ではコンクリート打設が困難となっているようである。設計においては，このような施工性も考慮して杭径や構造細目にも配慮されるのが望ましい。一方，施工においても，打設するコンクリートの適切なワーカビリティーの確保等を考慮して，小径のトレミー管の採用を検討する等により，できるだけ溶接継手の使用を控えるのが望ましい。

帯鉄筋を溶接継手とする場合は，フレア溶接継手が一般的である。フレア溶接継手により帯鉄筋の定着を行ったときのコンクリートの拘束効果やせん断補強筋効果等については明確でないのが現状で，今後，これを標準化させるためには通常のフック付きの重ね継手と比較して評価する必要がある。

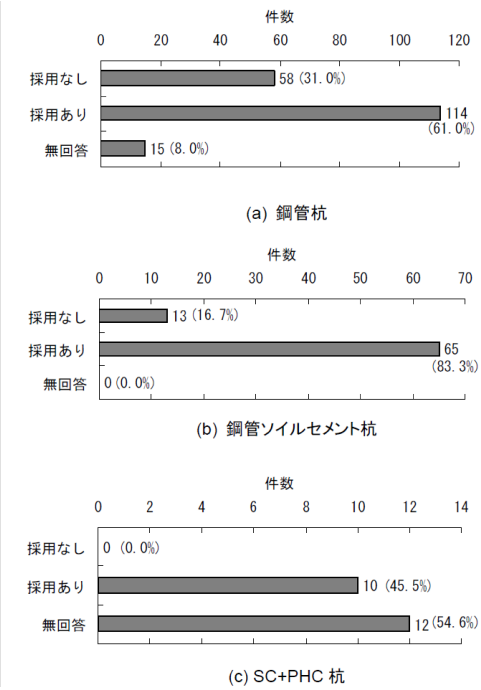
当面は，施工実績や他基準を参考にするものとする。一般に，フレア溶接継手の形状は，溶接長を鉄筋径の 10 倍以上，溶接箇所の両端に 20 mm の余裕長を設けているようである。

なお，土木研究所で行われる杭の交番載荷実験で用いられている杭の供試体においては，場所打ち杭の帯鉄筋は，上記の範囲で屋内でのフレア溶接を行い接合されている。載荷実験で大変形を生じた杭体の帯鉄筋を確認したところ，フレア溶接部には特に破断等の不具合は生じていおらず，適切な溶接作業が行われていれば，十分な定着性能を有していると考えられる。この他，フレア溶接においては，溶接ビード幅，のど厚の管理が重要となる。さらに，施工環境や作業者の技術レベル，作業姿勢が品質に影響を与えるため，施工に際しては，できるだけ天候や気温に左右されない屋内の安定した環境で施工する，JIS に定める技術検定の判定基準を満足する者が作業にあたる，フレア溶接の施工は，下向き，横向き，上向きの順で溶接の品質が低下すると言われていることから，作業時には下向きを原則とし，上向きでは作業を行ってはならない等に留意して施工しなければならない。

## 6.2 既成杭における杭とフーチングの結合部の構造細目に関する提案

土研資料 4037 号[13)]によると，鋼管杭や SC 杭，鋼管ソイルセメント杭の既成杭とフーチングの結合方法に杭頭補強鉄筋を用いる方法 B を用いるケースでは，これらの杭は，杭 1 本当たりの耐

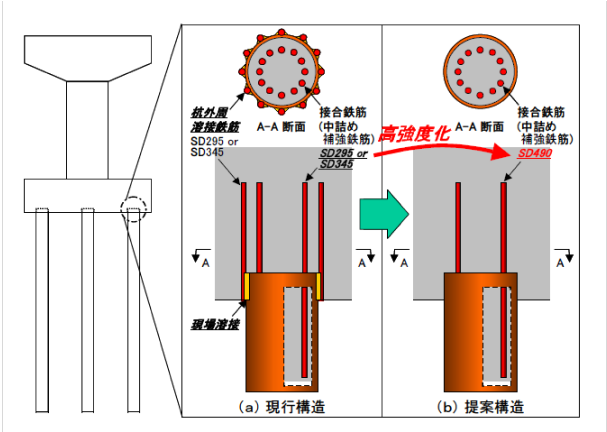
力が大きいため，杭頭補強鉄筋の設計において，杭体内に配置する鉄筋では結合部の耐力が不足し，杭外周に鉄筋を溶接する等により必要鉄筋量を配置する場合が多いようである (**図**–6.2)。




**図**–6.2 杭外周溶接の採用の有無[13)]

鉄筋への熱影響に対する懸念については，**6.1** でも述べたとおりである。また，杭外周に補強鉄筋を溶接する場合，その溶接長は，杭のフーチングへの埋込み長である 100 mm 程度しか確保できず，さらに，**2.1.1** にあるように，フーチング下面鉄筋との位置関係から溶接時の姿勢が著しく難しくなるなどの理由から，鉄筋を 1 本ずつ確実に溶接することは非常に難度が高いと考えられる。

一方，**5.3** では，鋼管杭の杭頭補強鉄筋に SD490 の高強度鉄筋を用いて実験を行い，その結果から，SD490 のような高強度鉄筋を用いた場合でも，SD295 や SD345 を用いた場合と同様に考え




**図**–6.3 杭頭結合部の構造細目に関する提案

ることができるという考察が得られた。また，既往の設計例から，杭頭補強鉄筋に SD490 を用いれば，多くの場合で杭外周に鉄筋を配置しなくてもよいという試算結果も得られている。

以上を考慮すると，既成杭の杭とフーチングの結合方法 B を用いる場合は，**図**–6.3 に示すように，杭外周の溶接は行わないものとし，鉄筋量が不足する場合には，SD490 までの高強度鉄筋の使用や，杭本数を見直すのが良いものと考える。

## 6.3　鉄筋の過密配置の変更による施工性の向上のための提案

施工実態ヒアリング調査では，鉄筋の過密配置によりコンクリート打設が困難となる意見が聞かれた。フーチングやはりの鉄筋は 100 mm～125 mm 程度のピッチで配置されていることが多い。一方で，コンクリート圧送用のポンプ車の圧送管径は内径で 4～5 吋 (約 100～125mm) が一般的となっていることから，コンクリート打設時には，ポンプ車の吐出口と鉄筋が干渉することが多く，実施工では，組み立てた鉄筋の結束を一旦ほどき，ポンプ吐出口を挿入するスペースを確保しながらコンクリートの打設が行われる。ヒアリング調査では，このような作業に繁雑さを感じている意見も多く，打設時間のロスによりコンクリートの仕上りの品質に影響する可能性もある。また，5.4 で行われたフーチングのコンクリートの設計基準強度を 30 N/mm$^2$ に引き上げた場合の施工性を確認する試験施工では，従来の 24 N/mm$^2$ の場合に比べて，硬化速度がはやいと報告されていることからも，強度の大きなコンクリートを用いることが前提である場合などは，鉄筋強度を上げ，鉄筋間隔を 150 mm 以上とする等により施工性の向上を図り，良好なコンクリート品質を確保する配慮も必要と考えられる。

土木構造物設計マニュアル[2)]では，鉄筋間隔は 125 mm，250 mm とすることを基本としているが，上述のように，施工性に関する点も考慮に入れ，150 mm と 300 mm の組合せも検討する等，応力状態，ひび割れ，最小鉄筋量等の観点から問題のない範囲で定めることが望ましい。ただし，同一の工事の各下部構造で鉄筋間隔が異なれば，発注者，施工者に混乱を生じる可能性も考えられるため，留意する必要がある。

# 第7章　まとめ

本資料では，施工性の良い，信頼できる道路橋下部構造の構築するため，次期道路橋示方書の改定案を作成することを最終目標として，調査・検討を行った。

まず，**第2章**において，近年の道路橋下部構造の大規模化，耐震性能の向上に伴う鉄筋の過密配置等に起因する施工の複雑化という現状と，実際の施工における課題を抽出するため，全国の地方整備局における施工現場を対象に施工実態ヒアリング調査を行い，施工の現状の把握を行った。

**第3章**では，鉄筋の過密化による鉄筋組立の施工性の悪化の一因となっている，鉄筋端部の定着形状について，検討を行っている。ここでは，部材の要求性能を満足するために定着部に求められる性能を評価し，既往の実験結果等を参考に，必要な鉄筋端部の定着構造の性能の評価方法を示した。さらに，施工性の向上に資する定着体付き鉄筋の適用性についても検討を行い，性能評価において必要な確認事項や，適用にあたっての前提条件を提示した。

**第4章**は，鉄筋継手の評価及び適用について検討を行ったものである。現行の道路橋示方書では，重ね継手以外の継手方法について，具体的な基準等がなく，様々な継手方法の適用性を評価することが出来ない。また，ヒアリング調査から得られた施工実態として，設計図書上では太径鉄筋の継手方法としてガス圧接継手を行うことが示されていても，実施工においては，施工の容易さや工期の短縮を図ることが可能な機械式継手を選択しているようである。そこで，**第4章**では，道路橋示方書以外の他基準における鉄筋の継手方法及びその評価方法についてレビューし，さらに，太径鉄筋・高強度鉄筋における継手の施工・品質・検査の観点から適用性を判断し，重ね継手，ガス圧接継手，機械式継手の適用区分について提案を行った。また，機械式継手の適用性の判定のために必要な確認事項，施工及び検査における着目点についても示した。

**第5章**は，高強度材料の適用性について検討を行ったものである。現行の道路橋示方書[1)]では，SD345までの鉄筋を適用範囲として記述されているが，近年は，用地や建築限界等による構造物断面の制約，高橋脚の計画における躯体断面の縮小によるコスト縮減効果等の観点から，高強度鉄筋の適用に対する需要の高まっている。また，杭基礎のように，断面が限られた部材において，多段配筋を軽減させる手段としても有効である。そこで，本章では，SD390，SD490の高強度鉄筋に対する許容応力度の提案を行った。また，高強度鉄筋SD490の適用性を評価するため，場所打ち杭及び鋼管杭の杭頭補強筋の軸方向鉄筋にSD490鉄筋を適用した組杭基礎の交番載荷実験の結果から，高強度材料の適用性及び留意点について考察を行った。場所打ち杭基礎については，変形性能及び付着の観点から普通強度の鉄筋(SD345以下)とは挙動が異なると判断し，許容塑性率を2に制限することで，これを安全側に評価すればよいとした。また，鋼管杭基礎への適用については，従来の規定を運用しても特に問題はないものと判断している。

また，鉄筋コンクリート構造の耐荷メカニズムの観点から，鉄筋の高強度化にあわせてコンク

リートの設計基準強度を引き上げる必要があることから，下部構造フーチングを対象に，コンクリートの設計基準強度を 30 N/mm$^2$ に引き上げた場合の施工性及び施工品質に及ぼす影響を評価するための試験施工を行った。試験施工の結果は良好で，コンクリート強度の引き上げについて特に問題はないと判断した。

**第 6 章**では，鉄筋への溶接が性能劣化につながる恐れがあることに憂慮し，場所打ち杭の組立時における軸方向鉄筋への溶接を原則として禁止することを提案した。ここでは，他機関における場所打ち杭の無溶接工法に対する取り組みを紹介するほか，道路橋において遵守すべき事項について提案している。また，鉄筋の過密配置がコンクリートの打設性の悪化に影響していることを考慮して，鉄筋間隔を柔軟に変更することも提案している。

以上の検討は，平成 8 年道路橋示方書の改定以降の構造物への高い耐震性能を確保するための構造細目の要求と，実際の運用における施工の実態との間に乖離を解消するために行われるとともに，将来的にも，信頼性の高い，良質な構造物を残していくために配慮しておくべき事項について行われたものである。本資料の検討成果を基礎資料として，構造物の要求性能を満足し，信頼性が高く，かつ，施工性にも十分に配慮された構造細目を規定し，次期道路橋示方書にて示したいと考える。

なお，本資料を取り纏めるにあたって，全国の地方整備局と工事現場の施工者各位には，貴重なご意見等をいただくとともに，試験施工のご協力もいただきました。また，改定案の検討にあたり，(社) 日本道路協会 下部構造小委員会において，九州工業大学の幸左賢二教授を主査とする RC 部材の構造細目 WG を設立し，平成 19 年度～20 年度にかけて活発な議論を頂きましたことを感謝する次第です。

# 参考文献


1) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002. 3.
2) 建設大臣官房技術調査室, 建設省土木研究所 :監修: 土木構造物設計ガイドライン　土木構造物設計マニュアル（案）[土木構造物・橋梁編], 1999.11.
3) 日本圧接協会: 鉄筋のガス圧接工事標準仕様書, 2005.
4) (社) 土木学会 コンクリート委員会鉄筋継手改訂小委員会: 鉄筋定着・継手指針【2007 年版】, 2007. 8.
5) 二戸信和, 鯉渕清, 大友健, 宮澤伸吾: 高炉セメントの特性を活かす低発熱・収縮抑制型高炉セメントを用いたコンクリートの性能と実施工, セメント・コンクリート, No. 722, pp. 10–16, 2007. 4.
6) 東日本／中日本／西日本高速道路株式会社: 設計要領, 2006. 4.
7) (社) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], (社) 土木学会, 2008. 3.
8) (社) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針–2003–, 2003.
9) American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications SI Unites Third Edition 2004, 2004.
10) American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications SI Unites Second Edition 1998, 1998.
11) 渡辺博志, 木村嘉富, 古賀裕久, 中村英佑, 青山尚, 竹内祐樹: コンクリートひび割れ部の塩分浸透性と鋼材腐食に関する暴露試験, 土木研究所資料, 第 4130 号, 2009. 1.
12) 幸左賢二, 田端一雅, 志村敦, 佐々木協一: 中間帯鉄筋のフック形状に着目した壁部材の変形性能評価試験, 構造工学論文集, Vol. 53A, pp. 998–1008, 2007. 3.
13) 中谷昌一, 石田雅博, 白戸真大, 井落久貴: 橋梁基礎形式の選定手法調査, 土木研究所資料, 第 4037 号, 2007. 2.
14) 運上茂樹, 寺山徹: 鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす中間帯鉄筋の影響に関する実験的研究, 土木研究所資料, 第 3563 号, 1998. 2.
15) Lukkunaprasit, P. and Sittipunt, C.: Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Columns with Hook-Clips, *ACI structural journal*, No. 100-S44, pp. 422–429, 2003.
16) 塩屋俊幸, 樋口義弘, 塩川英世, 高岸正章: T ヘッドバーをせん断補強筋として用いた曲げせん断実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 3, pp. 799–804, 2001.
17) 中村英佑, 渡辺博志, 古賀裕久, 椎名貴快: 曲げ加工部で破断したせん断補強筋を有する RC は

り部材の曲げせん断耐荷機構に関する実験的検討, コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集, Vol. 6, pp. 89–94, 2006.

18) Anderson, N. and Ramirez, J.: Effect of the Detailing of Stirrup Reinforcement on the Ulutimate Strength and Behavior of Reinforced Concrete Members Failing in Shear, Publication No. CE-STR-87-2, School of Civil Engineering Purdue Univ., Indiana., 1987.
19) 田中英紀, 酒井貴洋, 谷口修, 内藤英晴: せん断補強鉄筋の直角フック直線長が定着性能およびせん断耐力に与える影響に関する研究, コンクリート論文集第 19 巻, 第 2 号, pp. 1–10, 2008. 5.
20) 運上茂樹, 星隈順一, 西田秀明: 橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン（案）（橋脚の正負交番載荷実験方法及び振動台実験方法）, 土木研究所資料, 第 4023 号, 2006. 8.
21) 機械式鉄筋定着工法研究委員会: 機械式鉄筋定着工法 設計指針, (財) 日本建築総合試験所, 2006. 2.
22) (財) 日本建築センター: 特殊な鉄筋継手—30 年を振り返って—, らぴと for BCJ Partners, No. 14, pp. 4–7, 2003.
23) 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独) 建築研究所, 日本建築行政会議監修: 建築物の構造関係技術基準解説書, 2007.
24) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説　JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2003.
25) 田中礼治, 大芳賀義喜, 藤谷元行, 小澤昌広: 1995 年兵庫県南部地震における鉄筋のガス圧接継手の継手破断の被害原因に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 第 521 号, pp. 95–102, 1999. 7.
26) 西仁, 田中礼治, 成田一徳: ガス圧接継手強度の信頼性調査に関する研究, 土木学会第 48 回年次学術講演会, V-284, pp. 594–595, 1993. 9.
27) 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室, (社) 日本圧接協会: 鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書 (1) 載荷速度の影響, 共同研究報告書, 第 188 号, 1997. 8.
28) 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室, (社) 日本圧接協会: 鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書 (2) 温度および繰返し載荷の影響, 共同研究報告書, 第 196 号, 1998. 3.
29) 中澤春生, 矢部喜堂, 松崎育弘: 高強度鉄筋 SD490 のガス圧接条件の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 599–600, 1999. 9.
30) 森濱和正: 各種鉄筋継手の超音波による検査方法の検討, 土木技術資料, Vol. 47–4, pp. 66–71, 2005.
31) 河野広隆, 森濱和正: 鉄筋の機械式継手および溶接継手の挙動に関する調査報告書, 土木研究所資料, 第 3608 号, 1998. 12.
32) 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室, (社) 日本圧接協会: 鉄筋のガス圧接継手に関するを有するはり供試体の正負交番繰返し載荷実験, 共同研究報告書, 第 226 号, 1999. 3.
33) 吉津利洋, 尾形素臣: 鉄筋溶接継手に関する溶接性の研究—エンクローズ溶接継手に関する溶接性能—, 日本建築学会構造系論文集, No. 565, pp. 17–23, 2003. 3.

34) (社) 土木学会: コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], (社) 土木学会, 2002. 3.
35) (社) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999.11.
36) 福井次郎, 中野正則, 木村嘉富, 石田雅博, 大越盛幸, 阪野彰: 杭基礎の変形性能に関する載荷試験, 土木研究所資料, 第 3553 号, 1998. 3.
37) (社) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 1997. 3.
38) 森山英治, 小林勝巳, 福島泰之, 寺岡勝, 森紘一: 場所打ちコンクリート杭の主筋に対する溶接の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), pp. 699–700, 2003. 9.
39) 秋重博之: 場所打ちコンクリート杭の無溶接工法の開発, 基礎工, pp. 68–71, 2005. 2.

# 巻末資料

# 資料Ⅰ　施工実態ヒアリング調査の結果

ここでは，平成 19 年度に全国の地方整備局における道路橋下部構造の施工現場を対象に実施した，施工実態ヒアリング調査から得られた回答を記したものである。

土木研究所基礎チーム
道路協会下部構造小委員会・幹事会

# RC 構造物の施工実態に関する調査協力のお願いと道路橋示方書の構造細目の見直しについて

**問題点**

- 耐震設計等に伴う，鉄筋量の増大・太径化により施工性が悪化.
- 技術提案等に伴う選択肢の多様化に対する，その性能（品質）検証方法の不備.
- その他作業量の増大等に伴い，発注者側が品質管理に要する時間の確保が困難.
- 設計の高度化に対して, 高度化前の状態を想定した旧態依然の構造細目規定. 設計法と基準の乖離. 実験室と現場の乖離.

  例：鉄筋が太径化し，ガス圧接継手，機械式継手で継ぐ事がほとんどになっているにもかかわらず，重ね継手を前提とした記述．各種継手方法に関する管理規定無し.
- 現場実態に即していない施工管理規定存在への不安.（理想的な環境を前提とした溶接の実施要領など．フレア溶接などそもそも規定が無いものの取り扱い.）

**今後の方向**

- 施工可能な構造を実現する設計基準づくり.
- コスト削減よりも，合理的なコストでかつ品質の確保が容易なものを標準とする基準作り
  - 天候や現場作業地の状態などの違いに対しても一定の品質を確保することが容易な構造を標準とする.
  - 熟練工に頼らず，通常の作業員が確実に実施可能な構造を標準とする.

⇒ 道路協会下部構造小委員会・幹事会に RC 構造物の構造細目に関するワーキングを設置.

**成果の導入**

基準 = 実態に即して，構造細目の規定を改める．選択肢が複数あるものについては，適用可能なものを列挙，不良のものを排除．施工の章に品質管理のポイントを新たに記載.

運用基準 = 通達・地方整備局要領．ただし，それを補助する技術資料を土木研究所資料等として準備
例：継手や定着構造の選定の順位標準化

性能検証 = あたらしい継手構造や中間帯鉄筋構造の性能検証方法を土木研究所資料として取りまとめ. 技術審査証明発行機関などに提示

**依頼事項**

1. 現場での実態・要望を把握するために，現場（工務課，監督官，受注者 etc ）へのヒアリングを希望．各地整より数現場．土研およびワーキング委員が現地で直接ヒアリングを行う.
2. その他実態・要望を把握するための手法があればご教示いただきたい.

## 鉄筋コンクリート構造細目に関するヒアリング調査について

### １．目的

近年の鉄筋コンクリート製の橋梁下部構造物は，耐震性能向上のために横拘束筋や中間帯鉄筋等の鉄筋を多数配置する構造となっていることから，施工が以前に比べて複雑化してきている。場合によっては，当初の設計どおりの施工が困難であることを理由に設計変更や協議が行われている可能性も否定できない。これは，現在の道路橋示方書は，耐震性能の向上を図るように改訂を重ねてきた一方で，構造細目に関しては旧来の規定をそのまま現在においても適用していることが一因であり，このような基準を準用した設計と施工現場における実態の間に大きな乖離があるものと考えられる。

そこで，実際の施工現場における実態の把握と現状の問題点を明らかにするため，貴機関の工事担当者を対象としてヒアリング調査を行うこととする。

### ２．調査対象

道路橋示方書を準用して設計・施工する鉄筋コンクリート製橋梁下部構造および一般 RC 構造物

### ３．調査内容

- 鉄筋の配置やコンクリート打設等の下部構造の施工について，現場ではどのような問題があるのか，どのような点で苦心されているか
- 施工上の問題解決のためにどのような変更や対応をしているのか
- 現場で用いられるせん断補強鉄筋や継手構造にはどのようなものがあるのか，どのように管理されているのか
- 現場側から下部構造の施工に関する提案，新技術，要望について

### ４．事前調査

- 別添事前調査回答用紙　1 式（回答用紙　15 枚）
  - ヒアリングは調査回答用紙に基づいて行います。ヒアリング調査当日までに，調査回答用紙へのご記入をお願いいたします。
  - 手書き，直接入力の別は問いません。記入スペースが足りなければ，適当な用紙にてご回答下さい（様式は問いません）。その際，どの質問に対する回答かが判別できるようにご記入をお願いいたします。
  - 差し支えなければ, 施工担当の方からのご回答も頂けますようご協力をお願いいたします。
  - 不明な点があれば，下記の窓口担当者まで電話またはメールにてお問い合わせください。

### ５．問合せ先

土木研究所構造物研究グループ基礎チーム

〒305-8516　茨城県つくば市南原 1 番地 6

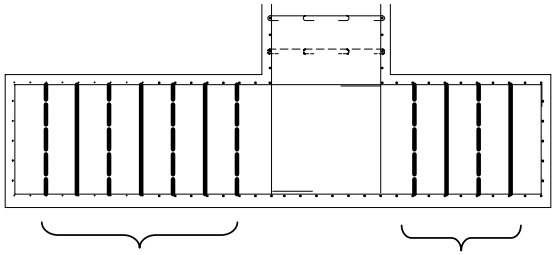
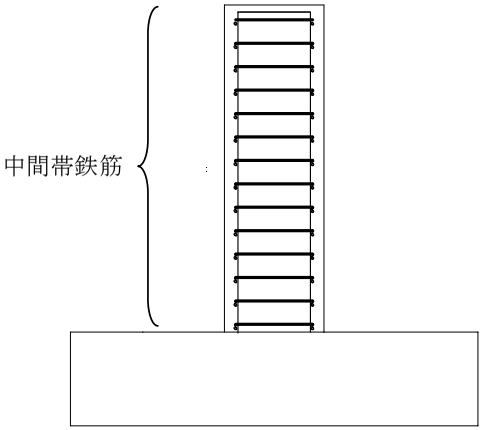
電話：029-879-6795　，FAX：029-879-6739

窓口担当者：　野村朋之（交流研究員）（マイクロ　8093-4743），hnomur44@pwri.go.jp

中村祐二（交流研究員）（マイクロ　8093-4739），ynakamu44@pwri.go.jp

以上

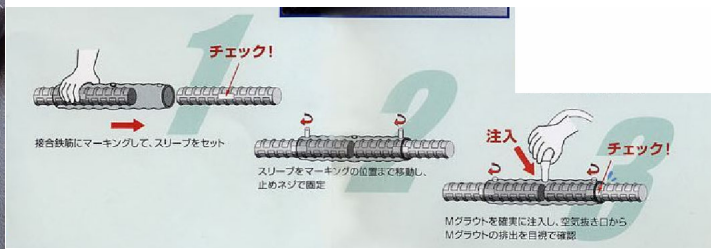
## 鉄筋加工形状について

| 配置図 | 加工形状 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1．〈フーチング〉スターラップ<br>  <br> | タイプ1 | タイプ2 | タイプ3 | タイプ4 | タイプ5 | タイプ6 |
| 2．〈柱，壁〉中間帯鉄筋<br>  <br> | タイプ1 | タイプ2 | タイプ3 | | | |

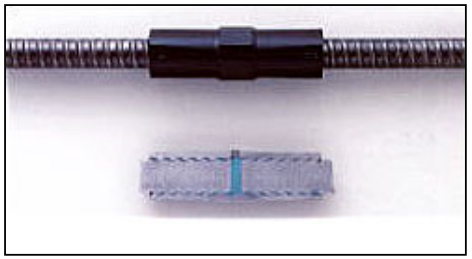
# 鉄筋継手の種類

## １．ガス圧接継手

## ２．充填継手



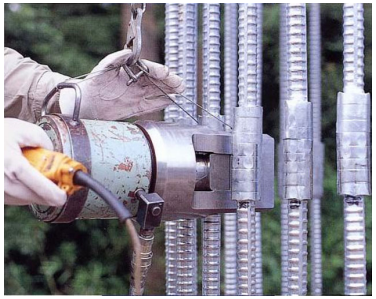

## ３．ねじふし継手



## ４．エンクローズ継手（突合せ溶接継手）

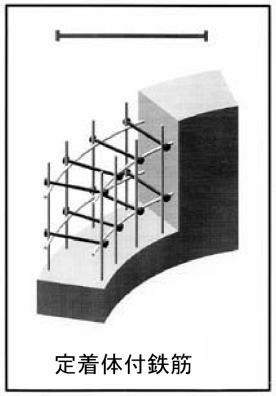
## ５．フレア溶接継手

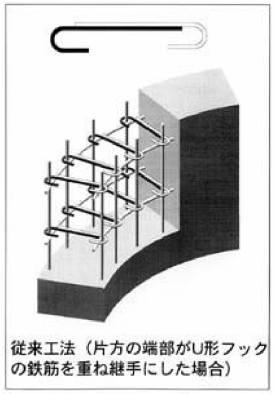
## ６．圧着継手

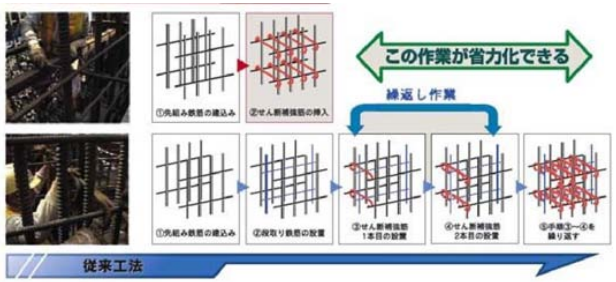


# 新しい鉄筋の継手・定着方法

## 1．新しいせん断補強鉄筋



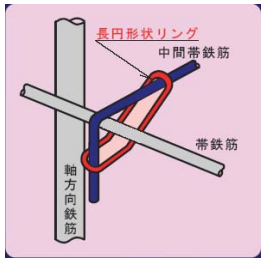




(a)両端プレートタイプ

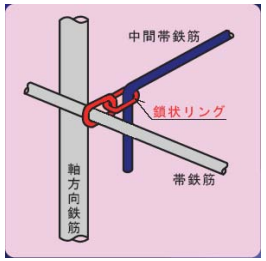
(b)片側プレートタイプ

## 2．せん断補強筋の定着方法

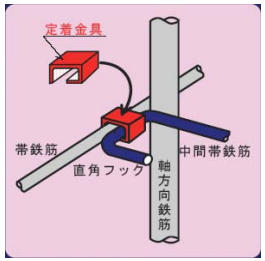
(a)リング式定着



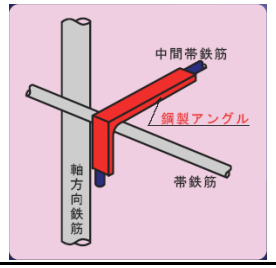

(b)鎖状リング式定着




(c)クリップ式定着

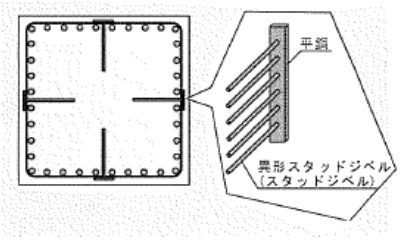



(d)鋼製アングル式定着




## 3．新しい横拘束筋の定着構造

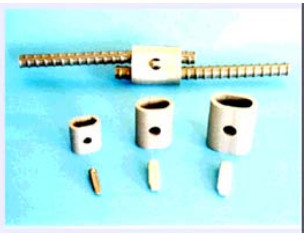
座屈防止エレメント



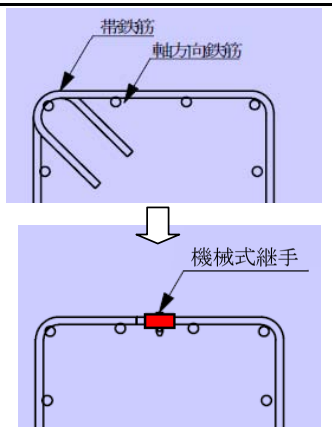

※中間帯鉄筋に代わりエレメントにより帯鉄筋のはらみだしを抑制

## 4．くさび圧入による機械式継手

施工状況



部品（スリーブ・ウェッジ）



## 【道路橋下部構造】RC 構造物の構造細目に関するヒアリング事前調査
## 回答用紙

| | | | |
|---|---|---|---|
| 機関名： | | | |
| 回答者：（役職） | | （氏名） | |
| 連絡先：（電話） | | （mail） | |

### 1. RC 構造物の設計・施工に関する検討，協議の実際について

**(1) 高強度鉄筋の使用**

1) これまでに，設計または施工上の理由から高強度鉄筋（SD390 以上とする）の使用したことがありますか。該当する方の＿＿＿欄に○をご記入ください。

高強度鉄筋の使用：　○　使用したことが**ある**

＿＿＿　使用したことは**ない**

2) 上記の 1)で，「使用したことがある」と回答された場合，どのような材料（強度，規格，名称等）を使用しましたか。また，高強度鉄筋を使用された場合，併せて使用したコンクリートの基準強度についてもご記入ください。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 高強度鉄筋（SD390 以上）の諸元： | | | |
| (i) | SD490：D51，橋脚柱軸方向鉄筋 | | | |
| (ii) | SD490：D25，D38，D41 エポキシ鉄筋，軸方向鉄筋 | | | |
| | 使用したコンクリートの基準強度： | (i) | 40 | N/mm$^2$ |
| | | (ii) | 40 | N/mm$^2$ |

意見：

(i)

- 上下部一体・デザインビルド方式で提案，採用している。
- SD490 の採用は，橋脚をスレンダーにすることによる断面縮小，軽量化をはかり，深礎杭の規模縮小にも寄与することが理由。その結果，山切りも縮小。
- 断面を縮小することが目的であったため，鉄筋ピッチ等は一般的な他の橋脚と相違ない。
- 受注者で設計したのは初めて。設計における考え方は結果的に七色高架橋における事例と同様の考え方。
- 発注者側としては，デザインビルド方式であることから，高強度鉄筋の性能確認等の附帯要項を要求した。
- 設計では高強度鉄筋の降伏以下に収まるようにしており，塑性領域までを考慮していないものである。
- 鉄筋の入手は市場全体が需要逼迫しており，鉄筋種の違いが納期に影響を与えることはなかった。価格は失念したが，やはり（SD345 に比較して）高価である（1.5 倍程度？）。
- 今後，このような高強度材料の使用機会は増えるように思う。

・ 施工性は特に問題はない。通常の鉄筋と同様である。継手は機械式継手を採用しており，施工前の引張試験を行った程度である。
・ 機械式継手の採用は， SD490 で適用可能な充てん式継手を採用。
・ コンクリートは設計基準強度 40 N/mm$^2$ に対して目標強度は 47 N/mm$^2$ 程度。
・ 高強度コンクリートに対して特別な配慮はない。通常と同様な打設となる。

(ii)

・ 高強度鉄筋は，φ6000 の PC ウェルで使用経験あり。
・ 40 N/mm$^2$ のコンクリートは発現強度で 44～45 程度，硬化速度が速い。
・ 高性能 AE 減水剤を使用した。
・ PC ウェルで使用した 40 N/mm$^2$ のコンクリートは, 施工当時は特に問題とならなかったが, 200～300m$^3$ のマスコンでは問題が出てきそうである。対応としては，温度応力解析，養生期間を通常より延長する等の方法が考えられる。

(2) **その他の特殊材料の検討，使用**

1) これまでに，設計および施工上の理由から高流動コンクリートや混和剤，ひび割れ抑制網目状繊維のようなコンクリート混合材料等の使用を検討されたことがありますか。どのような材料（強度，規格，名称等）を，どのような理由で検討されたか，ご記入ください。

① 高流動コンクリート（目標スランプフロー60cm 程度）：

② 高性能混和剤等の混合材料：

(i) (現場 A) 橋脚柱のコンクリート（40 N/mm$^2$）において，アルカリ総量の規定 3.0 kg/m$^3$ を守るため，セメント量を抑える必要があり，高性能 AE 減水剤を検討した。
(現場 G) 温度ひび割れ制御のため，単位セメント量を少なくすることを目標に高性能 AE 減水剤を検討した。

③ その他材料：

(i) ひび割れ抑制網目状繊維の混合を検討。

(ii) 膨張剤の混合を検討。

2) 上記の 1）については，主に設計，施工いずれの段階で検討されていますか。当てはまる方に，下の＿＿欄に○をご記入ください。また，実際にその材料を使用された場合はその効果や利点を，採用に至らなかった場合はその理由をご記入ください。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ① | 高流動コンクリート | ＿＿＿ | 設計時に検討, | ＿＿＿ 施工時に検討 |
| ② | 混和剤，混合材料 | ＿＿＿ | 設計時に検討, | ＿＿＿ 施工時に検討 |
| ③ | その他材料 | ＿＿＿ | 設計時に検討, | ＿＿＿ 施工時に検討 |

① 高流動コンクリートを採用した効果，または採用しなかった理由：

② 混和剤，混合材料を採用した効果，または採用しなかった理由：

(i) 高性能 AE 減水剤：
採用(現場 A)，試験練りによりアルカリ総量を規定値以下とすることが出来た。
採用(現場 G)，種類は色々あるが，ワーカビリティ，ブリージング共に良好なものを採用。

③ その他材料を採用した効果，または採用しなかった理由：

(i) ひび割れ抑制網目状繊維：
採用（現場 C，D，F，G），技術提案で採用，コンクリートの剥離落下による公衆災害防止として採用する等

(ii) 膨張剤：
採用，上部工壁高欄部にひび割れ誘発目地と併用して使用。誘発目地部以外にはひび割れ発生しなかった。

3) 上記の 1）で回答されたような特殊な材料を用いる場合，その材料の性能を評価するための規定として，どのような基準書，文献を用いていますか。それぞれご記入ください。

① 高流動コンクリート：

② 高性能混和剤，混合材料：

(i) 高性能 AE 減水剤：
コンクリート標準示方書，コンクリートライブラリー

③ その他材料：

意見：
（高性能 AE 減水剤について）
(現場 F)
- 高性能 AE 減水剤の使用を検討も，対応可能なプラントの確保，コストの面から採用できなかったことがある。他に，低熱セメント等も JIS 化してないこともありプラントが対応できないケースがほとんど。コストも高いため，採用しにくい。
- 都市高速道路の工事では膨張剤の使用が当初設計から見込まれていた。
- 高炉セメント B 種は，普通セメントと比べて温度が高くなり，ひび割れも多いと感じる。標準化を見直してはどうか。

(現場 G)
- コンクリートのひび割れ抑制検討に関する技術提案として高性能 AE 減水剤を提案･使用した。
- 低発熱セメントは専用のプラントを準備する必要があるので対応が困難。公団工事等で大規模な需要がある場合にプラントが対応した例がある。
- 膨張剤を使用する場合もある。

**(3) 鉄筋配置の施工に関する協議，変更**

1) これまでに，鉄筋の配筋形状，継手方法，鉄筋の配置に起因する構造の見直しなど，鉄筋の施工に関して，施工者から発注者への要望により変更等の協議を行った例はありますか。協議された変更内容について，簡単にご記入ください。

① 配筋形状の変更：

(i) 橋台パラペットの配力鉄筋の追加。外部拘束によるひび割れを防止するために横方向鉄筋を追加したことがある。

(ii) D51 等の大きな径の場合，設計どおりに配置できないので変更したことがある。

(iii) 杭とフーチング鉄筋の干渉により鉄筋の配置を見直すことがある。

(iv) フーチングの鉄筋組立において軸方向鉄筋が長尺で，切梁があることから鉄筋配置のための作業スペースを確保できないため，鉄筋継手なしの計画から圧接継手を設けるよう変更した。

(v) 深礎杭の帯鉄筋のフック形状を変更（半円形→鋭角）

② 継手方法の変更：

(i) 橋脚躯体において，太径鉄筋の継手をガス圧接から機械式継手に変更したことがある。熟練工が不要，天候の影響を受けないことからメリットがあると判断した。

(ii) 深礎杭の軸方向鉄筋について，ガス圧接から機械式継手へ変更した。

③ 構造の見直し：

④ その他：

2) 上記 1）について，施工者から発注者への要望による協議の結果，実際に設計変更がありましたか。設計変更があった場合は決定した変更内容について，変更されなかった場合はその理由についてご記入ください。

① 配筋形状の変更：

(i) 橋台パラペットのひび割れ防止鉄筋の追加：
施工承諾

(ii) D51 鉄筋の配置：
施工承諾，図面変更のみ

(iii) 機械式継手の採用：
施工承諾，図面変更のみ

(iv) ガス圧接継手の追加：
施工承諾，圧接部強度が母材以上であることを施工前試験により確認し，道示に基づき 25D 以上ずらした位置に圧接箇所を追加した。

意見：
- 工事発注後よく協議する事項は，①フーチングの鉄筋加工，②橋座の箱抜き等

② 継手方法の変更：

(i) ガス圧接継手から機械式継手への変更：
施工承諾

(ii) 深礎杭の軸方向鉄筋の継手変更：
施工承諾

意見：
- 機械式継手の品質の確認はメーカーの仕様に則り実施。
- 機械式継手の変更に伴い，コストは 3 割ほど割高，施工速度としては 2 割ほど改善が見られるような印象である。
- 発注者側として，施工承諾にて承諾するが，メーカーの仕様や管理方法をそのまま信用して良いか，という点は疑問もある。

③ 構造の見直し：

④ その他：

**(4) RC 構造物の設計・施工に関する検討，協議に関して**

1) ご意見・ご提案等があればご自由にご記入ください。

ご意見等：

(現場 A)

- RC 構造物のスランプ 8cm を標準値と固定することは実情に合っていない。施工条件（部材，鋼材量，打設高さ，ポンプ圧送条件）により適切なスランプは異なると考える。
- RC 構造物ではひび割れの発生は不可避。特記仕様書に補修の判断材料（例えば，ひび割れ幅 0.2mm 以上は補修）を示して欲しい。施工者はひび割れを防止するために事前に実施した対策等は設計変更の対象とならないか。
- 鉄筋の設計に関して，立体的に考えて欲しい。図面上は鉄筋が線と点でしかないが，受注者が鉄筋径を考慮し照査する際に鉄筋同士がぶつかり，間隔等に支障が出ることが多々ある。躯体との取り合い部分で沓座やブラケット支保工穴等が鉄筋とぶつかる場合が多い。2 段配筋の時は特に多い。

(現場 B)

- 沓座等の配筋についても設計で考慮されており，特に問題はない。
- 一般的に協議事項は特にない。

(現場 F)

- 発注者は当初の発注図面を基本に考えるため，中間帯鉄筋の形状は，施工承諾により変更する。近年は設計者が施工性を考慮して（半円形＋直角，重ね継手なし）としているケースもある。設計者と施工者で，施工可否の考え方が異なることが要因である。
- 過去には，フーチングスターラップや中間帯鉄筋の形状が施工不可ということで，施工承諾により継手形状へ変更することが多かったが，現在では設計図書の段階で内部重ね継手とする設計図面が多い。
- 圧接継手は，天候，技術者の確保，太径鉄筋における品質への不安（熱が通りにくい等）がある。
- 機械式継手の管理は，各継手を販売しているメーカーの管理要領に従っている。発注者側としても現状ではそれを用いて管理するより他ない。
- 優秀な圧接技能者が不足する傾向があると感じられる。

(現場 G)

- フーチングスターラップが非常に多く，施工が複雑である。鉄筋本数を減らし，鉄筋間隔を大きくするような設計が可能にならないか。

意見：

（三者協議について）

- 発注，設計，施工者による三者協議は，H17 年度以降，全工事で実施している。これらは設計業務の一環として行っていたものであるが，H19 年度からは，設計者との随意契約により三者協議を実施するようにしている。
- 三者協議の内容がフィードバックされるようなシステムは整っていないが，担当者レベルでの展開はあるのではないか。

## 2. RC 構造物の施工について

### (1) 基礎の施工

1) 一般に，場所打ち杭，深礎杭の施工において，軸方向鉄筋の継手構造としては主にどのような継手方法を用いていますか。この時，継手方法に鉄筋径による制限がある場合は，鉄筋径に応じてご記入ください。また，道路橋示方書以外の規定によっている場合は，その継手方法を規定している基準書等の名称も併せてご記入下さい。

| a) | 場所打ち杭： | | |
|---|---|---|---|
| | 鉄筋径： | 継手方法： | 基準書等： |
| (i) | ― | 重ね継手 | |

| b) | 深礎杭： | | |
|---|---|---|---|
| | 鉄筋径： | 継手方法： | 基準書等： |
| (i) | D29～D51 | ガス圧接継手 | |
| | D22～D25 | 重ね継手 | |
| (ii) | ― | ガス圧接継手，機械式継手 | |

意見：

- D35～38 以上になると，ガス圧接継手の施工性が落ちる印象はある。
- 大口径深礎において D51 を機械式継手で施工した例がある。
- 深礎において設計ではガス圧接継手だったが太径鉄筋における施工性や品質，安全性を考慮して機械式継手（ねじふし継手）に変更（施工承諾）した。
- 機械式継手の管理はメーカーの仕様にしたがっている。基本的には目視による挿入長の確認とグラウトの充填確認。施工は鉄筋工が担当。施工前にメーカーから指導員を呼び，施工方法，留意点等について教育を受ける。
- 場所打ち杭，深礎杭では重ね継手しか経験はない。

2) 一般に，杭頭補強筋や場所打ち杭の鉄筋かご等の組立てや所定の位置への設置時において，鉄筋の仮止め，組立てはどのようにしていますか。下記のなかから番号で選んでください。

① なまし線等の結束線による固定
② 仮（点付け）溶接による固定
③ ①，②の併用
④ その他，施工性を改善できる等の特別な工夫がある

仮止め，組立て方法： ①,，②，③

3) 2）で④と回答された場合，それはどのような工夫ですか。その概要についてご記入ください。

工夫の概要：

4) 2）で②または③と回答された場合，点付け溶接をするのは主にどの鉄筋の組立て時ですか。

溶接を行う箇所：

- 軸方向鉄筋と帯鉄筋の溶接
- 段取筋と軸方向鉄筋を溶接

意見：

（鉄筋かごの無溶接化について）

(現場 A)

- 鉄筋径が D25 程度で軽量の鉄筋カゴの場合であれば，結束のみでも施工可能だが，重量が大きくなってくると吊り上げ時の荷崩れが怖い。
- 12m の上側半分程度を結束のみのいうのは可能だと思う。

(現場 B)

- 鉄筋カゴは定尺長の 12m で 3～4ton の重量がある。これを結束だけで固定するのは難しい。鉄筋カゴを吊り上げて起こす時，荷重の偏りにより崩れる可能性がある。
- 無溶接を行う場合には，鉄筋カゴの沈設時に帯鉄筋を組み立てることも考えられるが，必要以上に時間が掛かり現実的でない。

(現場 F)

- 鉄筋カゴの組立ては，点付溶接をしないと鉄筋かごが建込み時に形状保持できないと思われる。上部等の一部のみであれば対応可能。

(現場 G)

- 鉄筋かごを吊り上げる際，下端を支点にして行うことから鉄筋かごが斜めとなる。無溶接化すると，この時の形状保持が困難と思われる。
- 鉄筋かごの 1 部分のみを結束のみで対応することは可能。鉄筋かごを全て結束のみでは対応できない。

（帯鉄筋の溶接について）

(現場 D)

- 場所打ち杭の帯鉄筋はフレア溶接を行っている。施工前検査として，引張試験を行うが，検査数量等の規定は整備されていない。

(現場 G)

- 杭の帯筋ではフックがコンクリートの充填性に影響することからからフレア溶接を用いている。杭径がφ1200 以下位になるとフレア溶接に変更している。

5) 一般的な場所打ち杭の施工において軸方向鉄筋の継手に機械式継手を用いた場合，施工性，品質，管理について，有利と思われる点や懸念される問題点等があればご自由にご記入ください。

機械式継手の使用により考えられる利点，問題点：

利点

- 技術レベルによる差が生ないため一定した品質の確保が可能。
- 鉄筋かごの脱落防止になる，コンクリートの充填性がよい。
- 確実な継手，天候に左右されない
- 天候に左右されず，作業効率がよい。
- 深礎杭内でのガス圧接継手は，発火性ガスによる火災，酸欠等の恐れあり，機械式継手は対応可能

問題点：

- 機械式継手によるコスト増。
- 仮組施設のヤード確保，施工時間が掛かり歩掛り増大する可能性。
- 杭の場合，主筋同士のピッチがずれていると施工できない。継手位置も鉄筋かご全周で揃っていないと施工できない。かぶりの観点から，機械式継手部分に帯鉄筋が配置できないのでは。
- グラウトが固定するまで鉄筋かごを動かせない状態となる。

意見：

- 九州の鉄道現場では，場所打ち杭の軸方向鉄筋を機械式継手で接合していると聞いている。仮組みして位置をあわせて組み立てているようである。
- 軸方向鉄筋の継手に機械式継手を用いた場合，鉄筋の製作精度および組立て精度により接続部分の位置を揃えることが困難で，鉄筋かごの状態で鉄筋の継手を行うことは困難だと思われる。

6) 基礎の施工に関して，ご意見等ご自由にご記入ください。

ご意見等：

- 大口径深礎の鉄筋組立ては土留め完了後に施工する。外部空間が決まった状態での施工となるので，中間帯鉄筋が組みづらい。1 断面あたりの本数や 1 段のピッチが狭いと足場組立てやコンクリート打設にも影響する。プレートタイプの中間帯鉄筋が一般的になれば随分と改善すると思う。
- 場所打ち杭で，組立て用帯鉄筋を主鉄筋の重ね継手部に配置するようになっており，施工が困難。継手部を避けるように配置した方が良い。このような場合，施工が出来ない旨を協議し，変更する必要がある。
- 細かな点は発注者，設計者，施工者による 3 者協議では議題にはなっていない。施工時の協議内容や変更事項を設計にフィードバックするためにも，議事録や結果を吸い上げていく体制が必要と考える。
- 図面が施工性を考慮していない。組立て鉄筋が各かごの適正位置に配置されていない，カゴ底鉄筋が各工法のビット形状に準じていないなど。よって，軸方向鉄筋と帯鉄筋以外は図面化せず数量のみを計上した方がよい。

(2) **フーチングの施工**

1) これまでに，フーチングの鉄筋配置で鉄筋配置が困難である，もしくは鉄筋の過密配置によりコンクリートの打設が困難である，と感じたことはありますか。該当する項目に○を付けてください。

a) 鉄筋配置困難　　b) 鉄筋の過密配置

1) 上記の 1) について鉄筋配置が困難である，また鉄筋の過密配置によりコンクリート打設が困難であると感じた場合，それはどのような部位でどのような鉄筋でしたか。文章，略図など，形式は問いませんので下欄にご記入ください。

a) 配筋困難：

（杭頭鉄筋とフーチング鉄筋の干渉）

- 杭頭鉄筋とフーチング下面鉄筋が重なり，図面通りの間隔で配置出来ないことが多く，どちらかのピッチを変更しないと組み立てられない。
- 鋼管杭において中詰め補強鉄筋と杭外周溶接鉄筋で 2 段配筋するケースでは特に困難。
- 鋼管杭の杭頭補強筋が内部＋外周の 2 段配筋のため，配置が困難。外周溶接の管理にも支障があった。
- 杭頭補強筋が干渉するため，フーチング下面鉄筋をずらして配置，鉄筋太径化が一因ではないか。
- フーチング下側筋と場所打ち杭の杭頭鉄筋の取り合いが困難。杭頭鉄筋がダブルの場合，フーチング鉄筋の配置は不可能。図面どおりに設置できないため，まず承諾が必要となる。ピッチを確保できないので，補強筋を入れて対応する場合もある。

（フーチングのスターラップ）

- 以前は設計図書においてフーチングのスターラップがタイプ 2（両側半円形）となっており，組立てが困難であることからタイプ 3（両側半円形＋重ね）に変更したことある。
- フーチング部のスターラップが両側半円形フック，内部での継手が困難。

（杭と柱の軸方向鉄筋の干渉）

- 場所打ち杭主筋（D38）と柱主筋（D51）の交差部が干渉して鉄筋の配置困難。

意見：

（フーチングと杭頭鉄筋の配置困難について）

- 従来からの問題ではあったが，鉄筋の太径化により以前よりも問題が顕在化している印象。
- 杭頭補強筋が 2 段になると配筋はさらに難しい。鋼管ソイルセメント杭の場合，外周部は溶接を行っている。

b) 過密配置：

- フーチング高さ 3～4 m のコンクリートを打設するとき，500 mm 間隔で配置されるスターラップの影響で作業員の移動が困難。
- フーチング上面の配筋ピッチが 150mm 以下の場合，コンクリート打設時のポンプ車の
- ホースが入らない。規定の中に設計時でも考慮するような一文を要望する。
- 杭頭鉄筋，柱主筋，帯筋が混在する箇所でコンクリート打設が困難
- 柱の軸方向鉄筋がダブルの場合，柱コーナー部において定着部が集中し，過密となる。

2) 一般に，フーチングのスターラップはどのような形状の鉄筋を用いることが多いですか。その形状について主に用いているもの 2 つを下欄にご記入ください。スターラップの形状は添付資料-1 も参考にしてご回答ください。

スターラップ形状：

- タイプ 2（両側半円形）
- タイプ 3（両側半円形＋重ね）
- タイプ 4（半円形+直角）
- タイプ 5（コの字端部半円形）

意見：

(現場 D)

- スターラップ形状は設計標準がタイプ 2（両側半円形フック）とされている。このため，実際の施工では，その都度，施工承諾により【タイプ 2】→【タイプ 3】に変更する。
- フーチングのスターラップのフック形状が直角フックで良いと明記されれば，1 本ものの両側直角フックで配筋は可能である。鉄筋工へのヒアリングでは，片側半円形フック，片側直角フックなら 1 本もので施工可能とのこと。

(現場 E)

- スターラップ形状がタイプ 1（両側直角）で良いなら，現場でも加工が容易で施工性が最も良い。

(現場 G)

- タイプ 2（両側半円形，1 本）で設計図があっても結果としてタイプ 3（両側半円形＋重ね）に変更（設計変更）して対応している。タイプ 2 で施工不可と判断されれば設計変更する。

3) これまでに，フーチングにおいて施工性，品質向上に資する工法や新技術，例えば機械式継手等の継手構造，せん断補強筋の新しい定着構造等の採用を検討されたことはありますか，該当する方に○を付けてください。また「はい」の場合，それはどのようなものですか，その工法や技術の概要をご記入ください。これらの技術，工法については添付資料-2，3 も参考にしてご回答ください。

（ はい ， いいえ ）

「はい」の場合，検討された工法，新技術：

(i) (現場 C) 片側プレートタイプのせん断補強筋を検討
(現場 F) 片側プレートタイプのせん断補強筋を検討

4) それは実際に採用されましたか。採用された場合はその効果を，採用しなかった場合はその理由についてご記入ください。

採用した効果，または採用しなかった理由：

(i) 片側プレートタイプのせん断補強筋：

(現場 C) 採用，施工承諾

(現場 F) 採用，施工承諾（杭頭補強筋の内部にスターラップを配置する計画となっていたため，対象部分を限定して承諾）

意見：

- プレートタイプのせん断補強筋は，実績がないことが懸念材料。標準化されれば適用は進むと思われる。

(i) (現場 C)　片側プレートタイプのせん断補強筋について

- スターラップ@250，かつフーチング下面鉄筋が D38 の 2 段配筋であったことから，鉄筋過密化，作業煩雑化，施工性低下による工程の遅延が予想されていたため。

5) フーチングの施工について，添付資料-2，3 に示す各工法，技術を用いれば鉄筋配置に関する施工性向上，施工品質の向上に有効である，採用を検討してみたい，と思われるものはありますか。どの工法・技術がどのような場合に有効と思われるか等，ご意見をご記入ください。

ご意見：

(現場 A)

- 一般的なフーチングではあまり新技術の必要性を感じない。
- プレートタイプのスターラップの採用は考えなくもないが，コストが課題
- くさび形の機械式継手はコンクリート打設時の施工性と品質向上に有効と思われる。

(現場 B)

- ねじふし鉄筋継手は，鉄筋工でも容易に作業が可能，人件費削減により経済的。また，ガス圧接のように天候に左右されないので工期短縮も可能。
- 定着体付きの鉄筋を検討したが，フックと両端プレートとの大きさ等を比較すると信頼性が不安である。金額も高く，承諾になって協議が難しい。プレートタイプのせん断補強筋を採用した事例はない。
- 土研提案方法は金物の取扱いが煩雑にならないか。

(現場 E)

- 定着体付きタイプの鉄筋は，施工性が良さそうだがフックがないので強度的に不安。

(現場 G)

- 鉄筋工が減少しており，人員の確保が難しい場合がある。簡単にできるなら好ましい。

意見：

(現場 A)

- フーチングやカルバートの鉄筋をガス圧接継手で接合する場合，縮み量の影響は数ミリ程度のレベルで施工誤差はあるものの，曲げ上げ等の問題になるほどではない。圧接工の技量により，ふくらみ量を調整する等が可能である。

(現場 B)

- ガス圧接継手は D38 でも可能である。ただし施工スピードは落ちる。

・ 圧接工の確保は困難ではない。若年層の技術者もいる。

6) 一般に，フーチングの配力鉄筋やスターラップ等の鉄筋の組立てや所定の位置への設置時において，鉄筋の仮止め，組立てはどのようにしていますか。下記のなかから番号で選んでください。

① なまし線等の結束線による固定
② 仮（点付け）溶接による固定
③ ①，②の併用
④ その他，施工性を改善できる等の特別な工夫がある

仮止め，組立て方法： ①

7) 6）で④と回答された場合，それはどのような工夫ですか。その概要についてご記入ください。

特別な工夫についての概要：

8) 6）で②または③と回答された場合，点付け溶接をするのは主にどの鉄筋の組立て時ですか。

溶接を行う鉄筋の箇所：

9) 一般的なフーチングに用いるコンクリートに使用している①セメントの種類（普通ポルトランドセメント，高炉セメント B 種等）及び②その設計基準強度についてご記入ください。また，それらの使用について③規定している基準書類についてもご記入ください。

① セメントの種類： 普通ポルトランドセメント, 高炉セメント B 種

② 基準書類で規定される設計基準強度： 24，30 $N/mm^2$

③ ①，②を規定する基準書類：

意見：
- 設計図書の指定により普通ポルトランドを用いる場合がある
- 普通と高炉 B では 4 週程度の期間があれば発現強度の差はないと思われる。
- 高炉セメントはひび割れが出やすい傾向がある。

(現場 C)
- 塩害等の影響を考慮し，密実なコンクリートとするため，数年前より下部工のコンクリート設計基準強度は 24→30 $N/mm^2$ に引き上げを行っている。
- それに伴い温度解析の実施例が多くなっている。
- コンクリートの設計基準強度引き上げに伴うひび割れの増加は特に感じていない。

10) フーチングコンクリートの配合設計における目標強度と，実際の施工時における発現強度の下限と上限の範囲をご記入ください。

① 目標強度：　　N/mm$^2$

② 施工時の発現強度：　　～　　N/mm$^2$

意見：

(現場 A)

- 一般に，設計基準強度に対して W/C≦55%を守れている。
- 目標強度は，プラントの製造誤差と実構造物の発現強度低下等を考慮すると，概ね上記の数値となる。

(現場 C)

- 目標強度を 29 として配合設計（呼び強度 24 に対して概ね 2 割増し）。発現強度のばらつきは少ない。
- コンクリート強度引き上げでひび割れが助長されるなら，過密配筋を創意工夫により配筋する方が現場の対応は容易。

(現場 D)

- 設計 30 に対して目標は 36。発現強度は 38～40 であった。発注者側として，30N/mm$^2$ 以上については（有害なひびわれがなければ）特に問題ないと考える。

(現場 E)

- コンクリート強度は設計で 24 N/mm$^2$ であるが，現場では 30 N/mm$^2$ 以上の強度が出る。設計基準を 30 N/mm$^2$ とすれば，現場発現強度は 36～40 近い強度になるのでは。
- NEXCO 管理では，目標強度を設定して強度管理を行うケースがある。
- 設計基準強度を上げるのであれば，誘発目地を入れる等の規定があれば良いのでは。NEXCO の工事では，橋脚の設計基準強度は 30 N/mm$^2$ であるが，ヘアクラックが入りやすい印象はある。

(現場 F)

- この現場のプラントは，設計基準強度 24N/mm$^2$ に対して W/C を 55%以下にするために，呼び強度が 27 N/mm$^2$ となっている。
- 概ね目標強度程度の強度が出ている。

(現場 G)

プラントによっては，W/C≦55%の制約から設計基準強度 24N/mm$^2$ では対応できない場合がある。骨材の違いが影響していると思われる。

11) 一般に，フーチングのコンクリートはマスコンクリートとして考えていますか。

（ (はい,) いいえ ）

12) マスコンクリートとして扱う判断基準となる規定（寸法，設計基準強度，ボリューム等）があればその概要についてご記入ください。

マスコンとして扱う判断基準：

- コンクリート標準示方書を参考にする
- 部材の最小断面寸法が大きい（80 cm 以上）
- セメント水和熱による温度上昇で有害なひび割れが入る恐れがある部分のコンクリート
- 上記の記述に該当しない場合でも，打設時期（打設温度が高くなる夏期，外気温が低くなる冬期）や配合条件が富配合となる場合（例えば単位セメント量 350kg/$m^3$ 程度以上），部材の拘束条件が厳しくなる場合などでは温度ひび割れの検討を事前に行っている。

13) これまでに，フーチングコンクリートの温度ひび割れを制御するために，設計及び施工時に対策を検討したことがありますか。温度ひび割れ対策としては，例えば，温度応力解析による検討，低発熱型セメントの使用，コンクリート製造時の温度調節，ひび割れ誘発目地の設置，ひび割れ制御鉄筋の配置などが考えられます。このような対策を採用したことがある場合は，対策の概要とその効果を，採用しなかった場合はその理由をご記入ください。

対策の概要：

(現場 A)

- 温度応力解析による検討を行う場合がある。

(現場 B)

- フーチングはコンクリート打設後に水没させて湿潤状態を一定に保つ。
- 温度応力解析による事前検討，低発熱型セメントの使用，高性能 AE 減水剤の使用による単位セメント量の提言，保湿養生の実施，パイプクーリング実施，鉄筋量の増加，打設リフトの分割，生コン工場の選定（単位セメント量の少ない工場を選定する）等

(現場 G)

- 温度応力解析を実施して，適切な型枠の脱型時期，養生方法を検討
- 単位セメント量を低減させる混和剤を検討する

採用した効果，または採用しなかった理由：

温度応力解析の実施：

(現場 A)

- 温度ひび割れを制御できた。

(現場 B)

- 許容ひび割れ幅以内への抑制，ひび割れ発生の防止，施工時に温度計測を行った実績では，ひび割れ指数に換算して 0.2～0.4 程度の抑制効果を確認した。

意見：

(現場 A)

- 3 次元 FEM による温度応力解析を実施することがある。応力の推定はともかく，温度については解析結果と実測値はほぼ整合する。
- 温度応力解析は，リスク管理を目的として行う例が多い。
- 解析におけるコンクリート強度は現場で使用する配合で評価。
- 解析の結果，ひび割れの可能性が高い場合には，誘発目地，膨張材，配合の見直し等を行う。

この中では膨張材を使用することによるひび割れ抑制効果が高いと考えている。

(現場 B)

- 温度応力解析の活用方法としては，養生期間の設定，養生シートの設置検討に用いる。解析結果と実際の施工時の内部温度測定結果との比較を実施。
- 保温養生は，冬期ではジェットヒーターによる保温養生を実施している。

(現場 C)

- 温度解析を行っても，解析結果は目安でしかなく，養生方法を検討する程度しか活用できない

(現場 E)

- ほぼ全てがマスコン対象となり，経験的な判断から技術提案等でない場合は，特に対策はしていない。

(現場 G)

- 仕様書において，温度応力，ひび割れの影響と対策について検討するよう明記されており，温度応力解析を実施する業者は多い。しかし，小規模な施工業者では，温度応力解析の実施が難しい。例えば外注すると 1 基あたり 100 万円単位の費用が必要である。
- 温度応力解析を実施した結果から，養生による対策工を検討した。型枠残置 7 日，養生マットおよび緩衝シートの巻き付けによりコンクリートの保温を行う計画とした。

14) 一般に，フーチングの施工に関してひび割れ対策等，施工管理の面で留意している点はありますか。ご自由にご記入ください。

留意している点：

(現場 A)

- コンクリート打設後の養生
- フーチングは形状が大きいものも多いため，施工不良や沈下クラック防止のため，1 層の打設高さを 50cm とし，十分な締固めを行う。また，十分な強度発現と乾燥収縮によるクラック防止のため散水養生を行う。
- コンクリートの現場配合で，混和剤等による水和熱抑制対策が考慮されているか，打設後の初期養生が適切か。

(現場 B)

- コンクリート打設前に作業員に打設要領を教育（バイブレータ選定，時間，人数等）。
- 生コン工場の抜き打ち検査，骨材・表面含水率他の管理状態を確認（技術提案）。
- コンクリート落下高さ 1.5m 以内，バイブレータは筒先より後方で，再振動締固め，ブリーディングの除去，天端仕上げ時のタンパによる突固め，被膜養生剤の使用（技術提案），冬期の加熱養生，かぶり付近の狭隘箇所は小型バイブレータを使用，沈下ひび割れ抑制のため打設速度の調整，トラックアジテータの待ちが生じないよう出荷調整等。
-

(現場 C)

- 養生マット敷設，湿潤状態を保つよう散水養生，過散水による温度低下にも留意する
- 充填性，施工性確保のため，スランプ管理の上限を【8+2.5cm】→【9+1.5cm】として管理する
- コンクリート打設後，脱枠と同時にシートで覆い養生。外気に直接触れないよう配慮。
- 出来る限り養生における管理を行い，有害なひび割れは補修による対応

(現場 D)

- 養生日数，養生温度管理

(現場 E)

- 散水＋養生マット，打設後のコンクリートが急冷しないよう養生，型枠の長期存置。
- 各層毎のバイブレータを入念に行う。

(現場 F)

- 通常 3 日（3.5N/mm$^2$）で型枠脱型が可能となるが，工程の許す限り型枠を放置，外温の影響を控えている。
- 湛水養生の実施
- 高性能 AE 減水剤の使用，型枠脱型期間の延長等
- 外気温が上昇しないよう早朝から打設するなど，打設時間を調整する。
- 膜養生，散水養生等の現場条件に適した養生方法の検討する。

(現場 G)

- ひび割れの発生は外気温，養生に留意することが重要。例えば，早朝の気温が上がらない時間からコンクリートを打設するなど。
- 1 層当たりの打ち上げ高さを 50～70cm に。上面鉄筋より上側の打設は，沈下クラック防止のため，1 時間ほど置いてから打設する。
- 養生を打設完了直後に実施。型枠脱型直後には皮膜養生材により乾燥防止。保湿，防風対策としてシート養生を実施。

意見：

(現場 A)

- コンクリート打設後の養生は，型枠脱型後の皮膜養生剤，薄膜のシートを巻き付けて，コンクリート内部の水分蒸発を防ぐ。

(現場 B)

- 皮膜散布剤は特に夏期におけるコンクリート表面からの水分蒸発を防ぐ。
- 夏期において，混和剤を遅延型にする等の提案もある。

(現場 C)

- 技術提案のひとつとして，供試体を用いて適切な養生方法を検証する方法が提案された。1m□の供試体にいくつかの養生方法でコンクリート内外の温度差を比較する。施工では，もっとも温度差の少ない養生方法を採用する。

(現場 E)

- 大規模な構造物や特殊なケースでは温度応力解析を実施する。解析の結果，ひび割れの可能性が高いと判定され，実際に生じた場合には，補修に関わる費用を発注者側で負担するケースもある。

15) 一般に，打設後のコンクリートの管理について，ひび割れ確認はどのタイミングで行っていますか。また，そのタイミングについて何か規定はありますか。

a) ひび割れ確認のタイミング：

(現場 A)

- 脱型時には必ず目視による詳細な点検を行う，支保工撤去時期や荷重載荷時，竣工までの各季節，気象条件変化時に定期点検，記録を行う。
- 脱型時，その他適時実施する。
- 脱型時～1 ヶ月程度，または埋戻し前

(現場 B)

- 型枠脱型完了後（打設 5 日後程度）。
- 天端均し完了 8 時間後。内部拘束型の場合は，水和熱による温度上昇が大きくなる材齢 3～5 日程度の時期。外部拘束型の場合は，コンクリート温度が低下する材齢 2 週間程度以降。支保工を取り外して拘束条件が変化した場合。比較的大きな地震が発生した場合。

(現場 F)

- 概ねコンクリートの発熱ピークが 10 日前後であることから 2 週間後に行う。
- 3～7 日，14,21,28 日強度確認時
- 型枠脱型後，および外気温とコンクリート温度が平衡する時期

b) ひび割れ確認のタイミングに関する規定　　ある　　ない

c) 規定がある場合，その名称：　社内規定の活用

16) 一般に，ひび割れ確認は誰（施工者，発注者，その他機関もしくは何らかの資格者）が確認していますか。また，確認項目としてはどのような項目があり（ひび割れ位置，幅，寸法，深さ等），それぞれどのように確認，記録していますか。

a) ひび割れ確認者：　施工者，定期的に発注者が立会

b) 確認項目と確認，記録方法

| | ・確認項目 | ・確認，記録方法 |
|---|---|---|
| ① | ひび割れ発生位置 | 目視，作図<br>基準からの位置を計測，ひび割れ調査票に記入 |
| ② | 幅 | クラックスケールによる計測，ひび割れ調査票に記入 |
| ③ | 長さ | メジャーテープによる計測，図示 |

17) 一般に，コンクリートのひび割れ調査結果から，対処が必要なひび割れか否かをどのように判断していますか。

ひび割れ対処の要否判断：

(現場 A)

- 許容ひび割れ幅については発注者協議により確認している。構造安全性（対策要否判定）は（施工者の）技術部署で検討，発注者協議により方針決定。
- ひび割れ調査票を基に経過観測を行い，「コンクリートひび割れ調査，補修・補強指針（JCI）」によりクラックの状態を把握，発注者立会の上で判断する。
- コンクリート標準示方書では「かぶり厚×0.5%」以上を有害なクラックとしているが，ひび割れ幅 0.2mm 以上の場合に補修している。

(現場 B)

- コンクリート構造物の環境条件，耐久性，耐水性の観点から見た許容ひび割れ幅により補修の有無を判断する。
- 土木コンクリート構造物の品質確保についての運用に基づき 0.2mm 以上の補修要否判断する。
- 許容ひび割れ幅，内部鉄筋腐食に対する耐久性，追跡調査によるひび割れの進行有無，ひび割れ深さ，対策時期の評価等を総合的に判定してひび割れ要否を判断

(現場 G)

- 大きさに関わらず，ひび割れが確認されれば経過観測を行い，進行性のものであるか，深さはどうか，といった点を調査する。深さは超音波により確認する。最終的には，コンクリート診断士の判断により対策の要否を決定する。
- コンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針 —2003— およびコンクリート標準示方書を参考に判断･･･現場では底版・柱は 0.2mm，梁は 0.15mm
- 貫通クラックについては幅に関係なく対処する

意見：

- もし大きなひび割れが発生した場合は社内専門家による診断を実施する。
- ひび割れが発生した場合は，コンクリート診断士に診断を依頼する。ひび割れが収縮するのかしないのかはコンクリート診断士が判断する。

18) 一般に，対処が必要なひび割れが確認された場合，どのような対処方法をとられますか。ひび割れのレベルにより対処方法が異なる場合は，ひび割れレベル毎にご記入下さい。また，その際に参照とする基準があれば，その名称をご記入下さい。

対処方法：

| （ひび割れレベル） | （対処方法） |
|---|---|
| 0.2mm 以上 | 樹脂注入等によるひび割れ充填 |
| 0.2mm 未満 | 改質材塗布等によるひび割れ閉塞，被覆工法 |

対処にあたって参照とする基準：

JCI「コンクリートひび割れ調査，補修・補強指針」

意見：

(現場 A)

・ コンクリートのクラックは，漏水の問題等が重要となる性能的な側面と，美観上の側面があるので，発注者との協議が必要。
・ フーチングにひび割れが入ることはあまりない。むしろ，フーチングと壁，壁とパラペットのような外部拘束の影響でクラックが入る場合が多い。

(現場 B)
・ ひび割れはフーチング側面，真ん中付近で発生しやすい。
・ 補修有無の判断基準は「ひび割れ調査・補修・補強指針（2003)」による。状況にもよるが，実際には 0.2mm 以下のひび割れであっても対処する。

19) 一般的なフーチングの施工に関して，ご意見等ご自由にご記入ください

ご意見等：

設計図面は，施工性を考慮していない場合がある（スターラップを両側半円形 1 本ものにする等)。図面に関する問い合わせをしても施工の困難さや問題点，施工承諾による修正を行っているという実情を把握している設計者は少ないのではないか。

ご意見：

（コンクリート強度の引き上げについて）

(現場 A)
・ 強度を上げてやってくれ，というだけでは難しいのではないか。ひび割れ防止筋を入れる等，ひび割れ抑制の考え方についての基本事項を示す必要があるのでは。

(現場 B)
・ ひび割れが懸念される。現状は過密配筋であり，この緩和されることも望ましいが，ひび割れが増えることも避けたい。過密配筋緩和により鉄筋ピッチが広がるとひび割れの懸念がある。ひび割れ防止鉄筋を配置することの規定が必要か。
・ 強度を上げたときの影響について，例えば高橋脚等での試験施工が必要では。
・ ひび割れは発生するものという認識が必要，補修の要否ラインをどこに置くかということを明記されないか。
・ 設計時点での温度応力解析を実施し，申し送り事項等にひび割れ管理の難易についてコメントを入れるようにならないか。

(現場 G)
・ コンクリート強度を 30N/mm$^2$ に上げるとセメント量が増加して，ワーカビリティが低下する。強度を上げる場合は強度だけでなく打設しやすいなど施工性も考慮する必要があるのでは。

（その他意見）
・ 高炉セメントで，28 日強度管理を 56 日，91 日管理にすることは，工期間近に施工された構造物では強度管理の結果を待てない場合が想定される。
・ 仮締切りのある場合，外型枠を埋殺し型枠とすれば，足場，掘削・埋戻し等の数量減となり，工事費縮減，工期短縮にメリットがあるのでは。
・ 設計時に温度解析を行い構造に反映すべき
・ ひび割れの抑制には，打設時期と養生方法が最も重要ではないか。発注時期が悪く，もっともひび割れが懸念される時期に打設せざるを得ないケースもある。
・ フーチングやはりは，せめて人が入れるスペースが欲しい。（コンクリート打設時に苦心する）

- ひび割れが懸念されるので，強度の引き上げには慎重にならざるを得ない。ただし，その一方で鉄筋配置の複雑化は D51 がダブル配筋になっているような現状で，既に限界に近いと感じられる。
- フーチング部の施工に必要な柱鉄筋組立て用の足場が積算上考慮されないので基準を示し，積算に反映できるように配慮して欲しい。

### (3) 当現場におけるフーチングの施工管理

現在施工中の RC 下部構造フーチングの施工管理についてお聞きします。なお，次に示すような資料をご提供願います。

- **コンクリート配合表**
- **コンクリートのひび割れ調査票（ひび割れ数，幅，位置等が分かるもの）**
- **ひび割れ写真（あれば）**

1) 当現場においてフーチングで使用されているコンクリートの諸元についてご記入ください。

① セメントの種類：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

② 設計基準強度：＿＿＿＿＿＿＿＿ $N/mm^2$

③ 目標強度：＿＿＿＿＿＿＿＿ $N/mm^2$

④ 水セメント比（W/C）：＿＿＿＿＿＿＿＿ %

⑤ 28 日強度：＿＿＿＿＿＿＿＿ $N/mm^2$

2) フーチングの寸法，フーチング上面鉄筋の鉄筋ピッチ等の諸元についてご記入ください。複数ある場合は，記入欄を追加してください。

| 下部工記号（A1,P1～A2 等） | 幅(m) | 長さ(m) | 高さ(m) | 鉄筋径＠ピッチ |
|---|---|---|---|---|
| 省略 | | | | |
| | | | | |

3) 2)のそれぞれのフーチングについて，その施工時期はいつ頃でしたか。また，打設時の気温，打設時の 1 層あたりの打上げ高さ，コンクリート打設後～型枠脱型までの養生期間をご記入ください。

| 下部工記号（A1,P1～A2 等） | 施工時期（例：9 月上旬） | 気温(℃) | 1 層当たりの打上げ高さ(cm) | 型枠脱型までの養生期間 |
|---|---|---|---|---|
| 省略 | 月 旬 | | | |
| | 月 旬 | | | |

4) フーチングコンクリート打設後はどのような養生方法が実施されましたか。いくつでも構いませんのでご記入ください。

コンクリートの養生方法：

- 湿潤養生
- 上面：養生シート（打設日～5 日間），下面：型枠残置（打設日～7 日間），脱型後皮膜養生剤の散布
- 初日はシート養生，以後，マット養生，散水養生，湛水養生
- 表面養生マットによる散水養生，夜間の上部ブルーシートによる表面養生
- コンクリート打設後，露出面は養生マットおよび散水を実施，脱型までの間，湿潤状態を保つ。
- 型枠脱型後は皮膜養生剤を散布し，厚さ 0.05mm のシートでコンクリート面を覆った。

5) フーチングコンクリート打設後，型枠脱型をするタイミングはどのように決定されましたか。

フーチング型枠脱型のタイミング決定：

- 脱型強度確認用に資料を採取，$\sigma_{ck}$=5 N/mm$^2$ を確認して脱型する。
- コンクリート標準示方書を参考に，$\sigma_{ck}$=3.5 N/mm$^2$ 以上を確認，温度応力解析結果から決定された 7 日の養生後，脱型
- あまり長く型枠を置くとセパ周辺の沈下クラックが入りやすい。木製型枠の色がコンクリート面に付着するなど見栄えも悪くなる。

6) ひび割れ調査の結果，確認されたひび割れのうちで注入等の対処が必要なひび割れはありますか。該当する方に○を付けてください。また，「はい」と回答された場合，どのように対処（予定）されましたか。

（ はい， いいえ ）

「はい」の場合，ひび割れ対処方法：

- 表面被覆工法：ひび割れ箇所に被覆材（止水セメント）により，劣化因子の浸入を防ぎ，コンクリート構造物の耐久性向上と劣化の進行を抑制する効果を期待。

7) 当現場におけるフーチング施工についてご意見等ご自由にご記入ください。

ご意見等：

- 柱主鉄筋組立てのための足場をフーチング内部に設置すると，経験上，ボイドからのクラック発生が懸念されたので，山留め壁上部に鋼材を渡して，その上に足場を設置した。

**(4) 橋台壁，橋脚柱の施工**

1) これまでに，橋台壁部，橋脚柱部の鉄筋配置で鉄筋配置が困難である，もしくは鉄筋の過密配置によりコンクリートの打設が困難である，と感じたことはありますか。該当する項目に○を付けてください。

（a) 鉄筋配置困難） （b) 鉄筋の過密配置）

2) 上記の 1) について，鉄筋配置が困難である，また鉄筋の過密配置によりコンクリート打設が困難であると感じた場合，それはどのような部位でどのような鉄筋でしたか。文章，略図など，形式は

問いませんので下欄にご記入ください。

a) 配筋困難：

- 橋脚の軸方向鉄筋が深礎杭に埋め込まれる部分で施工に苦心した。橋脚軸方向鉄筋 D51@150，帯鉄筋 D29@150 と深礎の中間帯鉄筋（D29@300）が輻輳するため。
- 中空式橋脚で，主筋 D51@150，帯鉄筋 D25@125，中間帯鉄筋 D25 で，中間帯鉄筋のフック半径が 150mm であったことから，帯鉄筋の間隔よりも大きくなり，配筋困難であった。
- 橋脚柱主筋（D51）の 2 段配筋で帯鉄筋が両端半円形フックとなっている。落し込みによる施工しかできず組み立てが困難。
- 中間帯鉄筋の配置
- フーチング上面鉄筋と柱の軸方向鉄筋の干渉

b) 過密配置：

- 橋脚主筋が深礎杭に埋め込まれる部分で鉄筋の過密配置。
- 中空式橋脚の壁厚が 1000mm で D51 鉄筋が内外それぞれ 2 段配筋となっており，鉄筋の芯間隔で 379mm しかない。コンクリート打設時はこの間隔に人が入る必要があり，コンクリート打設が困難であった。

3) 一般に，中間帯鉄筋はどのような形状の鉄筋を用いていますか。その形状について，主に用いるもの２つをご記入ください。形状については添付資料-1 も参考にしてご回答ください。

中間帯鉄筋形状：

- タイプ 1（半円形＋直角）
- タイプ 2（両半円形）
- タイプ 3（両半円形＋重ね）

意見：

(現場 B)

- 帯鉄筋は地組みしてから所定の位置に設置し，中間帯鉄筋は端部のフックを軸方向鉄筋及び帯鉄筋の両方にかける必要があるので，地組みではなく所定の位置で設置する。

(現場 D)

- 柱の中間帯鉄筋もフーチングのスターラップと同様に，両側半円形フックの 1 本もので設計されているため，帯鉄筋及び中間帯鉄筋を先組して対応している。

4) 一般に，鉄筋の継手にはどのような継手方法を用いていますか。①～③の鉄筋の種類毎に継手方法をご記入ください。この時，継手方法に鉄筋径による制限がある場合は，鉄筋径に応じてご記入ください。

① 軸方向鉄筋：

- D29 以上の継手はガス圧接
- 機械式継手

意見：

(現場 A)

- 圧接工の不足は特段感じない。年齢層も 30～40 代の圧接工もいる。

(現場 B)

- 圧接工は 50 代の熟練工が多い。
- D51 の鉄筋でも圧接したことはある。

(現場 C)

- ガス圧接業者の確保が難しいことがある。

(現場 D)

- D29 以上の鉄筋はガス圧接継手を用いているが, D38 以上では予熱を与えることに時間を要するなど 1 箇所あたりの圧接に時間がかかり過ぎること，その性能が十分に期待できるか不安なことにより，機械式継手に変更している。
- ガス圧接業者の確保が難しいことがある。

(現場 E)

- 一般に D25 以下は重ね継手，D29 以上はガス圧接継手（やむを得ず塑性ヒンジに継手が必要な場合はガス圧接継手）
- 圧接部の超音波探傷は，施工業者は全数行う。発注者は 2 割程度の抜き取り検査
- ガス圧接業者の確保が難しいことがある。隣県の業者に依頼することもある。

(現場 G)

- 太径では機械式継手が施工性は良くなる。特にダブル配筋の場合, 内側鉄筋のガス圧接が困難。継手数も多く，時間がかかる。
- 圧接技術者を工事の工程に合わせて確保することが難しくなってきている。
- 圧接→機械式への変更は D38 くらいが境になる。
- 機械式のコスト高分は，安全性，工程等を考えると，全体として相殺される印象。

② 帯（配力）鉄筋：

- 重ね継手（フック付）

③ 中間帯鉄筋：

- 重ね継手

5) これまでに，橋台壁や橋脚柱の施工において施工性，品質向上に資する工法や新技術，例えば，機械式継手等の継手構造，せん断補強筋の新しい定着構造等の採用を検討されたことはありますか，該当する方に○を付けてください。また「はい」の場合，それはどのようなものですか，その工法や技術の概要をご記入ください。これらの技術，工法については添付資料-2，3 も参考にしてご回答ください。

（はい）， いいえ）

「はい」の場合，検討された工法，新技術：

(i) 機械式継手
(ii) 柱の中間帯鉄筋に定着体付き鉄筋の採用を検討
(iii) 柱の軸方向鉄筋 D51 について，【ガス圧接】→【機械式継手】を検討

6) それは実際に採用されましたか。採用された場合はその効果を，採用しなかった場合はその理由についてご記入ください。

採用した効果，または採用しなかった理由：
(i) 採用，熟練工が不要であり，天候に左右されない。現場条件の違いに対しても一定の品質確保が容易。施工時間短縮のため，工程が短縮できた。
(ii) 採用せず，橋脚柱の中間帯鉄筋としての信頼性に対して不安があったため
(iii) 採用，圧接に比較して施工時間短縮，天候に左右されない，施工が容易

7) 橋台壁や橋脚柱の施工において，添付資料-2，3 に示す各工法，技術を用いれば鉄筋配置に関する施工性向上，施工品質の向上に有効である，採用を検討してみたい，と思われるものはありますか。どの工法・技術がどのような場合に有効と思われるか等，ご意見をご記入ください。

ご意見：
- 機械式継手は施工性向上に有効と思われる。
- 新しいせん断補強鉄筋も施工の省力化につながり有効と思われる。
- プレートタイプのせん断補強筋，土研提案の定着方法，座屈防止エレメントは一般化されてくれば，組立てスペースの確保，作業手順の多様化，単純化が期待され，施工性向上に有効と思われる。
- 定着体付きは施工性良く工期短縮が図れそうである。緩み等少ない分確実な結束が期待できそうだが，コストが割高，性能が確認され，設計に見込まれるなら検討したい。
- 土研提案定着方法は鉄筋の加工精度が要求されるのではないか。
- 両端プレートタイプのせん断補強筋の性能が確認できれば柱等でも検討したい
- 新しいせん断補強筋の採用に当たっては適用可能部位を明記されると採用しやすい
- 新しいせん断補強筋の採用が，機械式継手と同様に公的機関での試験を必要とするのであれば採用しにくい。
- プレートタイプの鉄筋は，施工性が良さそうである。材料費との比較によっては検討したい。

意見：
- 半円形フックは配筋ミスがあると組み直しに大変な労力が必要となるので施工性は良くない。
- 機械式継手のメリットは，①ガス圧接と比べて時間の短縮が図れる，②天候に左右されない，③施工が容易になること。ただし，継手のカプラー部はふくらみがあるため，帯鉄筋にそれ用の加工が必要。
- D35 以上のガス圧接は施工に時間がかかる事や，有資格者の確保の問題もあることから機械式（充填式）継手を承諾してもらっている。
- 機械式継手はガス圧接継手と比べて，抜き取り検査による公的機関での試験が必要になると，

余分な時間を要しその後の工程に影響する。施工前試験で性能が評価され，施工後の管理も容易であるならば，採用しても良いと思う。

- デザインビルド方式事業において，柱の中間帯鉄筋に片側プレートタイプの鉄筋を使用したことがある。工期の短縮が目的で，両側プレートタイプより安価であったため，片側プレートタイプを採用した。

8) 一般に，橋台壁や橋脚柱における配力鉄筋，帯鉄筋や中間帯鉄筋等の鉄筋の組立てや所定の位置への設置時において，鉄筋の仮止め，組立てはどのようにしていますか。下記のなかから番号で選んでください。

① なまし線等の結束線による固定
② 仮（点付け）溶接による固定
③ ①，②の併用
④ その他，施工性を改善できる等の特別な工夫がある

仮止め，組立て方法： ①

7) 8）で④と回答された場合，それはどのような工夫ですか。その概要についてご記入ください。

特別な工夫についての概要：

8) 8）で②または③と回答された場合，点付け溶接をするのは主にどの鉄筋の組立て時ですか。

溶接を行う鉄筋の箇所：

9) 一般的な橋台壁，橋脚柱の施工に関して，ご意見等ご自由にご記入ください。

ご意見等：

(現場 A)

- 橋脚柱部については，①高強度材料を使用したスリム化，②新工法による鉄筋量の縮減が採用できる環境作りを行って欲しい。

(現場 B)

- 耐震設計により鉄筋径が大きくなり，鉄筋ピッチが狭くなっている。鉄筋組立やコンクリート打設が困難となってきているため施工品質の低下が懸念される。施工性にも配慮した耐震設計をしていただきたい。

**(5) 梁，橋座，パラペット，ウィング等の施工**

1) これまでに，梁，橋座，パラペット，ウィング等の鉄筋配置で，鉄筋配置が困難である，もしくは鉄筋の過密配置によりコンクリートの打設が困難である，と感じたことはありますか。該当する項目に○を付けてください。

a) 鉄筋配置困難　　b) 鉄筋の過密配置

2) 上記の 1） について，鉄筋配置が困難である，また鉄筋の過密配置によりコンクリート打設が困難であると感じた場合，それはどのような部位でどのような鉄筋でしたか。文章，略図など，形式は問いませんので下欄にご記入ください。

a) 配筋困難：

- 沓座筋や沓座用円形型枠が躯体の鉄筋と干渉する。パラペットの落橋防止システムも同様に干渉する。
- 橋座部アンカー箱抜きの設置や上筋 2 段のはりにおけるスターラップの配置が困難。
- 梁鉄筋下側の沓座補強鉄筋の配置。
- 橋座の中間帯鉄筋が両側半円形フックのため，配筋困難。
- 支承のアンカー箱抜きが大きく，鉄筋間隔に余裕がないので配置に苦心する。
- 梁の帯鉄筋がコの字型で寸法が大きく，現場での配置が困難。

b) 過密配置：

- 橋台ウィング部や壁高欄の鉄筋が密で，ポンプ筒先が入らずコンクリート打設が困難である。
- ラーメン橋脚梁部（上筋 D29@100, 下筋 D38@100 で上下筋共に鉄筋の隙間が 60～70mm 程度）の鉄筋のあきが少なく，バイブレータによる締固めが困難
- はりの上面鉄筋と沓座補強筋が重なる部分

意見：

- ラーメン橋脚の梁部，フーチングの配筋はかなり過密である。
- コンクリート打設時にはジャッキにより強制的に開口部を確保している。
- 開口部は本来 200 mm 程度は欲しい。

3) これまでに，梁，橋座，パラペット，ウィング等の施工において，施工性，品質向上に資する工法や新技術，例えば，機械式継手等の継手構造，せん断補強筋の新しい定着構造等の採用を検討されたことはありますか。該当する方に○を付けてください。また「はい」の場合，それはどのようなものですか，その工法や技術の概要をご記入ください。これらの技術，工法については添付資料-2, 3 も参考にしてご回答ください。

（はい　，　(いいえ)）

「はい」の場合，検討された工法，新技術：

4) それは実際に採用されましたか。採用された場合はその効果を，採用しなかった場合はその理由についてご記入ください。

採用した効果，または採用しなかった理由：

5) 梁，橋座，パラペット，ウィング等の施工において，添付資料-2，3 に示す各工法，技術を用いれば鉄筋配置に関する施工性向上，施工品質の向上に有効である，採用を検討してみたい，と思われるものはありますか。どの工法・技術がどのような場合に有効と思われるか等，ご意見をご記入ください。

ご意見：

- 添付資料にある工法や技術は，施工性向上に有効と思われる。

6) 一般に，梁，橋座，パラペット，ウィング等の帯鉄筋，中間帯鉄筋やスターラップ等の鉄筋の組立てや所定の位置への設置時において，仮止め，組立てはどのようにしていますか。下記のなかから番号で選んでください。

① なまし線等の結束線による固定
② 仮（点付け）溶接による固定
③ ①，②の併用
④ その他，施工性を改善できる等の特別な工夫がある

仮止め，組立て方法： ①

7) 6）で④と回答された場合，それはどのような工夫ですか。その概要についてご記入ください。

特別な工夫についての概要：

8) 6）で②または③と回答された場合，点付け溶接をするのは主にどの鉄筋の組立て時ですか。

溶接を行う鉄筋の箇所：

9) 一般的な橋座，梁，パラペット，ウィング等の施工に関して，ご意見等ご自由にご記入ください。

ご意見等：

- T 型橋脚の PC 梁の配筋が定着部切欠きを考慮した配筋でなかった。
- 上部工用の付属物の影響が多い箇所のため，設計時で付属物および鉄筋が組めるか検討しておいて欲しい。
- コンクリート打設時には最低 150mm 以上の間隔がないと打設用のポンプが入らない。鉄筋をずらして対応する必要有り。鉄筋配置については施工できている。
- 沓座周辺の鉄筋間隔の余裕が少ない
- 支承アンカー箱抜きと鉄筋が干渉，鉄筋をずらさざるをえない
- 橋軸に対して梁が斜角になっている場合，配筋が斜めになるため箱抜きスペースの確保が困難
- 梁の中間帯鉄筋（沓座補強筋）が 1 本ものの場合，配筋困難である。
- はりのスターラップ，中間帯鉄筋，沓座周辺の鉄筋及び補強筋の施工が困難。
- 梁下部のスターラップの配置（スターラップの圧縮側端部が半円形フックの場合）

## 3. その他

本調査に関連して，ご意見や，道路橋示方書の鉄筋コンクリート構造細目の改訂に関するご提案等ありましたら，ご自由にご記入ください。

ご意見等：

(現場 A)

- 杭基礎設計便覧（H19 年 1 月）に「斜面上に設けられる深礎杭の設計」が掲載されたが，道示でも同様に具体的な設計法を示してもらいたい。
- 水平地盤に設けられる橋脚の深礎の設計をケーソンとして設計するよう指導を受けたが，道示では深礎杭の位置づけが明確でないように思う。
- 新しい継手方法，定着方法を初めて知った。これらが一般的になり，種類も増えれば均一な品質の確保，施工性向上，工期短縮が期待されると思う。機会があれば検討したい。

(現場 B)

- 設計図面が施工に配慮した図面となっていない。3 者協議の充実により詳細まで配慮した設計図書を完成させる必要がある。
- 設計図面の鉄筋は線表示であり，図面は実際の現場での過密配筋と印象は全く異なる。技術も進んでおり，3D の図面等で作成できるのではないのか。

(現場 D)

- 設計図書が現場施工を考慮されていない，配慮すべき。また，設計者による現場施工状況のチェック等の義務づけを検討されてはどうか。

(現場 G)

- 鉄筋ピッチを 125→150 にすることに抵抗はない，施工性も良くなるので是非検討して欲しい
- 杭頭の鉄筋が太径で，特に 2 段配筋の場合はフーチング下筋が元々の設計ではどのように施工しても物理的に配置不能である。そのため，現場では鉄筋配置の検討，施工承諾という手順が必要になる。設計時点で両者を整合するようにしてもらいたい。鋼製橋脚のアンカーフレーム等でも同様に別々に考えられており，設計で考慮されていない

**ヒアリング事前調査項目は以上です。ご協力ありがとうございました。**