

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2022-164157
(P2022-164157A)

(43)公開日 令和4年10月27日(2022.10.27)

(51)Int. Cl.
E 0 1 D 19/02 (2006.01)

F I
E 0 1 D 19/02

テーマコード(参考)
2 D 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願2021-69469(P2021-69469)
(22)出願日 令和3年4月16日(2021.4.16)

特許法第30条第2項適用申請有り 「2020年9月28日、https://archive.iii.kyushu-u.ac.jp/public/dehEwA8IYw_AumcBob50-iW_f c J g z K z W C e D 6 f y h 4 Z P i a、「20200924_USB概要集.zip」(公益社団法人土木学会第40回地震工学研究発表会、破壊尤度の制御による道路橋の崩壊シナリオデザイン設計法の提案)」 「一般財団法人土木研究センター、土木技術資料、第62巻、第12号、令和2年12月1日発行、pp.8-11、極大地震動に対する道路橋の崩壊シナリオデザイン設計法の提案～性能規定型設計法のエンパワーメント～」

(71)出願人 301031392
国立研究開発法人土木研究所
茨城県つくば市南原1番地6
(74)代理人 100125298
弁理士 塩田 伸
(72)発明者 大住 道生
茨城県つくば市南原1番地6 国立研究開
発法人土木研究所内
(72)発明者 中尾 尚史
茨城県つくば市南原1番地6 国立研究開
発法人土木研究所内
(72)発明者 石崎 覚史
茨城県つくば市南原1番地6 国立研究開
発法人土木研究所内
Fターム(参考) 2D059 AA03 GG05

(54)【発明の名称】 耐力階層化RC橋脚及びその設計方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 耐力が階層化された耐力階層化RC橋脚等を提供する。

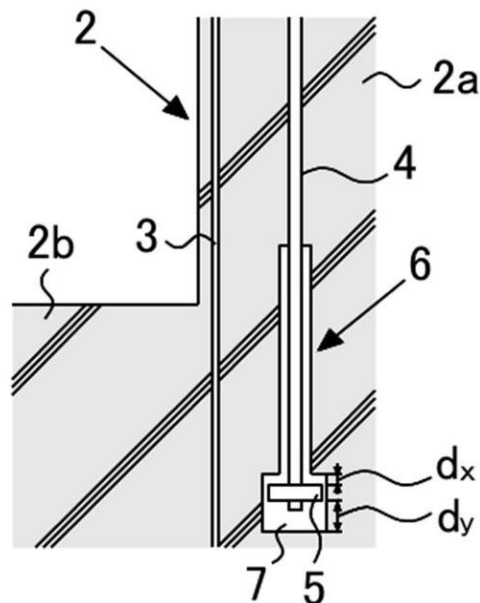
【解決手段】 耐力階層化RC橋脚はコンクリート躯体2、耐力階層化鉄筋4、支圧板5等を有し、中空シース6は、その底部側が大中空部7とされ、平常時における支圧板上面と大中空部の上面部分との間の距離である引張側遊間長d×が下記式を満足するように形成される。

$$dx = \int_0^{L_p} \phi_{1s}' y_{1s}' dl \quad \dots \dots (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{1s}' \leq \phi_{1s3} \quad \dots \dots (2)$$

1s' はレベル2地震動がもたらす塑性ヒンジ区間における曲率、y1s' は 1s' を示すときの中立軸の位置から対向する耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離、Lpは塑性ヒンジ長、φ1sは限界状態1における曲率、φ1s3は限界状態3における曲率を示す。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

柱状のコンクリート躯体と、前記コンクリート躯体内部にその高さ方向に沿って埋設される軸方向鉄筋と、前記軸方向鉄筋よりも内側の前記コンクリート躯体内部に前記高さ方向に沿って配される耐力階層化鉄筋と、前記高さ方向と直交する方向で前記軸方向鉄筋の束の外側に周設される帯鉄筋と、を備える脚部と、

前記コンクリート躯体上部に配される支承部と、を有する R C 橋脚において、

前記耐力階層化鉄筋は、底部側に前記高さ方向と直交する方向に張り出されたフランジを形成する支圧板が固着され、底部側の部分及び前記支圧板が前記コンクリート躯体内部に形成された中空シース内に遊嵌され、前記底部側の部分から上方の部分が前記コンクリート躯体内に定着されて配され、

前記中空シースは、その底部側が前記支圧板を収容する、上方よりも開口径が大きな大中空部とされ、前記大中空部の上面部分が前記支圧板上面と対向し前記耐力階層化鉄筋が上方に引っ張られたときに前記支圧板上面と当接して引張力に抵抗する引張抵抗面とされ、かつ、平常時における前記支圧板上面と前記引張抵抗面との間の距離である引張側遊間長 d_x が下記式 (1) 及び (2) を満足するように形成されることを特徴とする耐力階層化 R C 橋脚。

【数 1】

$$dx = \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \dots \dots (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \dots \dots (2)$$

ただし、前記式 (1)、(2) 中、 ϕ_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}' は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_y は、道路橋示方書 V に示される橋脚の限界状態 1 とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{ls3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 3 とみなす変位における曲率を示す。

【請求項 2】

平常時における支圧板底面と大中空部の底面部分との間の距離である圧縮側遊間長 d_y が下記式 (3) を満足するように形成される請求項 1 に記載の耐力階層化 R C 橋脚。

【数 2】

$$dy \geq \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}'' dl \quad \dots \dots (3)$$

ただし、前記式 (3) 中、 ϕ_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}'' は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示す。

【請求項 3】

支承部は、耐力階層化鉄筋が作動しないときの脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せず、前記耐力階層化鉄筋の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように破壊強度が設定される請求項 1 から 2 のいずれかに記載の耐力階層化 R C 橋脚。

【請求項 4】

10

30

40

50

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の耐力階層化 R C 橋脚の設計方法であって、
 少なくとも、耐力階層化鉄筋が作動しないときにレベル 2 地震動によって生ずる変位が
 もたらず脚部の塑性ヒンジ区間における曲率 ϕ_{ls}' を算出する曲率算出工程と、
 前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部
 の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離 y_{ls}' を算出
 する距離算出工程と、
 前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長 L_p を算出する塑性ヒンジ長算出工程と
 、
 前記曲率 ϕ_{ls}' 、前記最短距離 y_{ls}' 及び前記塑性ヒンジ長 L_p の算出結果に基づ
 き、下記式 (1) 及び (2) を満足するように引張側遊間長 dx を設定する引張側遊間設
 定工程と、
 を含むことを特徴とする耐力階層化 R C 橋脚の設計方法。

10

【数 3】

$$dx = \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

ただし、前記式 (1)、(2) 中、 ϕ_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位が
 もたらず前記脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}' は、前記曲率 ϕ_{ls}'
 を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対
 向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区
 間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_y は、道路橋示方書 V に示される橋脚の限界状態
 1 とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{ls3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋
 脚の限界状態 3 とみなす変位における曲率を示す。

20

【請求項 5】

更に、平常時における支圧板底面と大中空部の底面部分との間の距離である圧縮側遊間
 長 dy を下記式 (3) を満足するように設定する圧縮側遊間設定工程を含む請求項 4 に記
 載の耐力階層化 R C 橋脚の設計方法。

30

【数 4】

$$dy \geq \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}'' dl \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

ただし、前記式 (3) 中、 ϕ_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらず
 脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}'' は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すとき
 の前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない耐力階層化
 鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒ
 ンジ長を示す。

40

【請求項 6】

更に、耐力階層化鉄筋が作動しないときの脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せ
 ず、前記耐力階層化鉄筋の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前
 記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように支承部の破壊強度を設定する支承部設定
 工程を含む請求項 4 から 5 のいずれかに記載の耐力階層化 R C 橋脚の設計方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地震動の強度に応じて耐力が階層化された耐力階層化 R C 橋脚及びその設計

方法に関する。

【背景技術】

【0002】

道路橋示方書Ⅴ（日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，2017.）に規定される設計地震動は、過去の地震動特性等に基づき、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）、前記橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の二段階の地震動を考慮することとし、レベル2地震動としてもプレート境界型の大規模な地震動を想定したタイプⅠの地震動や内陸直下型の地震を想定したタイプⅡの地震動の2種類について考慮することとしている。

しかしながら、前記設計地震動を上回る極大地震動が発生する可能性は否定できない。

10

そのため、道路橋には、前記設計地震動に対する耐震性能を担保しつつ、前記極大地震動に対しても、できるだけ機能が損なわれないことが求められる。

【0003】

従来、二段階の地震動強度に応じた耐震設計手法として、コンクリート躯体内に外側主鉄筋と内側主鉄筋とを配したうえ、前記内側主鉄筋の端部を前記コンクリート躯体に軸方向間隙をあけて定着させることや、前記内側主鉄筋の下端に圧縮代又は引張代解消後に前記内側主鉄筋を作動させる可縮性部材を配することにより、強い地震動を受けて作動する鉄筋構造を橋脚に付与する手法が提案されている（特許文献1，2参照）。

しかしながら、これらの提案では、前記軸方向間隙及び前記加縮性部材の前記圧縮代及び前記引張代をどのように設定するかが不明であり、また、前記設計地震動を上回る前記極大地震動を想定していないため、前記極大地震動に対する耐震性能を満足させることができない問題がある。

20

即ち、前記軸方向間隙及び前記加縮性部材の前記圧縮代の設定が短い場合、前記極大地震動を受けたときに前記内側鉄筋が前記外側鉄筋とともに前記設計地震動未満の外力で作動し始めることで座屈するおそれがある。また、前記軸方向間隙及び前記加縮性部材の前記引張代の設定が長い場合、前記内側鉄筋が作動する前に前記橋脚が倒壊するおそれがある。

また、前記極大地震動に対しては終局変位を超えるおそれがあり、橋脚が倒壊することが否定できない。

前記設計地震動までは、前記道路橋示方書Ⅴの耐震設計で耐震性能が確保されるため、前記極大地震動に対する耐震設計こそが今まさに求められる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2001-295220号公報

【特許文献2】特開2002-349011号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、従来における前記諸問題を解決し、以下の目的を達成することを課題とする。即ち、本発明は、前記設計地震動に対する耐震性能を担保しつつ、前記極大地震動に対しても橋の機能が損なわれにくい、耐力が階層化された耐力階層化RC橋脚及びその設計方法を提供することを課題とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するための手段としては、以下の通りである。即ち、

<1> 柱状のコンクリート躯体と、前記コンクリート躯体内部にその高さ方向に沿って埋設される軸方向鉄筋と、前記軸方向鉄筋よりも内側の前記コンクリート躯体内部に前記高さ方向に沿って配される耐力階層化鉄筋と、前記高さ方向と直交する方向で前記軸方向鉄筋の束の外側に周設される帯鉄筋と、を備える脚部と、前記コンクリート躯体上部に

50

配される支承部と、を有する R C 橋脚において、前記耐力階層化鉄筋は、底部側に前記高さ方向と直交する方向に張り出されたフランジを形成する支圧板が固着され、底部側の部分及び前記支圧板が前記コンクリート躯体内部に形成された中空シース内に遊嵌され、前記底部側の部分から上方の部分が前記コンクリート躯体内に定着されて配され、前記中空シースは、その底部側が前記支圧板を収容する、上方よりも開口径が大きな大中空部とされ、前記大中空部の上面部分が前記支圧板上面と対向し前記耐力階層化鉄筋が上方に引っ張られたときに前記支圧板上面と当接して引張力に抵抗する引張抵抗面とされ、かつ、平常時における前記支圧板上面と前記引張抵抗面との間の距離である引張側遊間長 d_x が下記式 (1) 及び (2) を満足するように形成されることを特徴とする耐力階層化 R C 橋脚。

10

【数 1】

$$dx = \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \dots \dots (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \dots \dots (2)$$

ただし、前記式 (1)、(2) 中、 y_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 ϕ_{ls}' は、前記曲率 y_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_{ls} は、道路橋示方書 V に示される橋脚の限界状態 1 とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{ls3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 3 とみなす変位における曲率を示す。

20

< 2 > 平常時における支圧板底面と大中空部の底面部分との間の距離である圧縮側遊間長 d_y が下記式 (3) を満足するように形成される前記 < 1 > に記載の耐力階層化 R C 橋脚。

【数 2】

$$dy \geq \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}'' dl \quad \dots \dots (3)$$

ただし、前記式 (3) 中、 y_{ls}'' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 ϕ_{ls}' は、前記曲率 y_{ls}'' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示す。

< 3 > 支承部は、耐力階層化鉄筋が作動しないときの脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せず、前記耐力階層化鉄筋の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように破壊強度が設定される前記 < 1 > から < 2 > のいずれかに記載の耐力階層化 R C 橋脚。

40

< 4 > 前記 < 1 > から < 3 > のいずれかに記載の耐力階層化 R C 橋脚の設計方法であって、少なくとも、耐力階層化鉄筋が作動しないときにレベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす脚部の塑性ヒンジ区間における曲率 ϕ_{ls}' を算出する曲率算出工程と、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離 y_{ls}' を算出する距離算出工程と、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長 L_p を算出する塑性ヒンジ長算出工程と、前記曲率 ϕ_{ls}' 、前記最短距離 y_{ls}' 及び前記塑性ヒンジ長 L_p の算出結果に基づき、下記式 (1) 及び (2) を満足するように引張側遊間長 d_x を設定する引張側遊間設定工程と、を含むことを特徴とする耐力階層化 R C 橋脚の設計方法。

50

【数 3】

$$dx = \int_0^{Lp} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

ただし、前記式(1)、(2)中、 y_{ls}' は、レベル2地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 ϕ_{ls}' は、前記曲率 y_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 Lp は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_{ls} は、道路橋示方書Vに示される橋脚の限界状態1とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{ls3} は、前記道路橋示方書Vに示される前記橋脚の限界状態3とみなす変位における曲率を示す。

<5> 更に、平常時における支圧板底面と大中空部の底面部分との間の距離である圧縮側遊間長 dy を下記式(3)を満足するように設定する圧縮側遊間設定工程を含む前記<4>に記載の耐力階層化RC橋脚の設計方法。

【数 4】

$$dy \geq \int_0^{Lp} \phi_{ls}' y_{ls}'' dl \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

ただし、前記式(3)中、 y_{ls}'' は、レベル2地震動によって生ずる変位がもたらす脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 ϕ_{ls}' は、前記曲率 y_{ls}'' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 Lp は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示す。

<6> 更に、耐力階層化鉄筋が作動しないときの脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せず、前記耐力階層化鉄筋の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように支承部の破壊強度を設定する支承部設定工程を含む前記<4>から<5>のいずれかに記載の耐力階層化RC橋脚の設計方法。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、従来技術における前記諸問題を解決することができ、前記設計地震動に対する耐震性能を担保しつつ、前記極大地震動に対しても橋の機能が損なわれにくい、耐力が階層化された耐力階層化RC橋脚及びその設計方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】耐力階層化RC橋脚の実施形態の一例を示す部分断面図である。

【図2】図1のA-A線断面である。

【図3】橋脚基部の部分拡大断面図である。

【図4】道路橋示方書Vに準じたコンクリートの応力-ひずみ関係を示す図である。

【図5】道路橋示方書Vに準じた軸方向鉄筋の応力-ひずみ関係を示す図である。

【図6】地震動による引張力作用時の状態を示す、橋脚基部の部分拡大断面図である。

【図7】設計地震動を超える極大地震動を受けたときの水平荷重-水平変位関係における橋脚の想定挙動を説明するための説明図である。

【図8(a)】状態1の段階における耐力階層化RC橋脚の状態を説明するための説明図である。

【図8(b)】状態2の段階における耐力階層化RC橋脚の状態を説明するための説明図

10

30

40

50

である。

【図 8 (c)】状態 3 の段階における耐力階層化 R C 橋脚の状態を説明するための説明図である。

【図 8 (d)】耐力階層化鉄筋を有さない場合等の橋脚の状態を説明するための説明図である。

【図 8 (e)】状態 4 の段階における耐力階層化 R C 橋脚の状態を説明するための説明図である。

【図 9】耐力階層化 R C 橋脚の設計方法の好適な実施形態の例を説明するフローチャート図である。

【図 10】シミュレーション解析で想定する R C 橋脚と杭基礎とで支持される連続桁形式の 5 径間連続鋼 I 桁橋の説明図である。

10

【図 11】具体的なモデル 2 の配筋図を示す図である。

【図 12】シミュレーション解析に用いる多質点骨組みモデルの説明図である。

【図 13】シミュレーション解析において設定されるコンクリートの応力 - ひずみ関係を示す図である。

【図 14】耐力階層化鉄筋に与える荷重 - 変位関係を示す図である。

【図 15】モデル 1 及びモデル 2 についての荷重漸増解析結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

(耐力階層化 R C 橋脚)

本発明の耐力階層化 R C 橋脚を図面を参照しつつ、詳細に説明する。

20

【0010】

前記耐力階層化 R C 橋脚の実施形態の一例を図 1 に示す。

図 1 に示すように、耐力階層化 R C 橋脚 1 は、主として、コンクリート躯体 2、軸方向鉄筋 3、耐力階層化鉄筋 4 を有する脚部と、帯鉄筋 8 と、橋の支承部 10 とを備える。

【0011】

柱状のコンクリート躯体 2 としては、柱状であれば特に制限はなく、前記道路橋示方書 V にしたがって公知の構造から適宜選択して構成することができる。図示の例では、地中に埋設されて橋脚基部をなすフーチング部 2 a と、フーチング部 2 a 上に立設される柱部 2 b と、柱部 2 b 上に配され、橋脚上部の梁部 2 c とで構成される。柱部 2 b としては、角柱状、円柱状、楕円柱状のいずれであってもよい。

30

【0012】

軸方向鉄筋 3 は、コンクリート躯体 2 内部に所定の間隔をあけて複数本が断面環状の表面側位置にそれぞれ配されるとともに、コンクリート躯体 2 の高さ方向（軸方向）に沿って埋設される。また、軸方向鉄筋 3 の束は、前記高さ方向と直交する方向で前記束の外側に周設される帯鉄筋 8 により拘束される。これら軸方向鉄筋 3、帯鉄筋 8 としては、特に制限はなく、前記道路橋示方書 V にしたがって公知の構造から適宜選択して構成することができる。また、コンクリート躯体 2 としては、図示しない中間帯鉄筋等により補強されていてもよい。

【0013】

耐力階層化鉄筋 4 は、軸方向鉄筋 3 よりも内側のコンクリート躯体 2 内部に前記高さ方向に沿って配される。耐力階層化鉄筋 4 としては、軸方向鉄筋 3 の内側におけるコンクリート躯体 2 内部に複数本配され、例えば、図 1 の A - A 線断面である図 2 に示すように、角柱状のコンクリート躯体 2 内部表面側の全周に亘って一定間隔で配される複数本の軸方向鉄筋 3 の内側に、複数本の耐力階層化鉄筋 4 が一定間隔で配される。ただし、耐力階層化鉄筋 4 としては、地震動による変位に基づく引張側の応力に抵抗するものであればよく、軸方向鉄筋 3 の配筋位置の内周位置の全周に亘って配される必要はない。

40

【0014】

また、この耐力階層化鉄筋 4 は、図 3 に示すように、底部（基部）側に前記高さ方向と直交する方向に張り出されたフランジを形成する支圧板 5 が固着され、底部側の部分及び

50

支圧板 5 がコンクリート躯体 2 内部に形成された中空シース 6 内に遊嵌され、前記底部側の部分から上方の部分がコンクリート躯体 2 内に埋設等されて定着される。即ち、前記橋脚基部側（例えば、前記橋脚の塑性ヒンジ区間）において耐力階層化鉄筋 4 及び支圧板 5 は、コンクリート躯体 2 と縁切りされる。なお、図 3 は、前記橋脚基部の部分拡大断面図である。

【 0 0 1 5 】

中空シース 6 は、その底部側が支圧板 5 を收容する、上方よりも開口径が大きな大中空部 7 とされ、大中空部 7 の上面部分が支圧板 5 上面と対向し耐力階層化鉄筋 4 が上方に引っ張られたときに支圧板 5 上面と当接して引張力に抵抗する引張抵抗面とされ、かつ、平常時における支圧板 5 上面と前記引張抵抗面との間の距離である引張側遊間長 d_x (m) が下記式 (1) 及び (2) を満足するように形成される。なお、本明細書において、「平常時」とは、前記 RC 橋脚に地震動に基づく水平変位が生じていない状態を示す。

10

【 0 0 1 6 】

【数 5】

$$dx = \int_0^{L_p} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \dots (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \dots (2)$$

ただし、前記式 (1)、(2) 中、 ϕ_{ls}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}' は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_y は、道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 1 とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{ls3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 3 とみなす変位における曲率を示す。

【 0 0 1 7 】

前記式 (1) における前記曲率 ϕ_{ls}' は、前記式 (2) で表されるように、前記曲率 ϕ_y と前記曲率 ϕ_{ls3} との間の範囲で設定される。前記曲率 ϕ_y 及び前記曲率 ϕ_{ls3} の概念について、以下、具体的に説明する。

30

先ず、前記式 (2) における前記 ϕ_y は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の前記限界状態 1 に達するとき生じる曲率であり、前記橋脚を前記耐力階層化鉄筋が配されていない状態の前記脚部と仮定して、前記道路橋示方書 V に基づき、下記式 (4) により与えられる。

【 0 0 1 8 】

【数 6】

$$\phi_y = \left(\frac{M_{ls2}}{M_{y0}} \right) \phi_{y0} \quad \dots (4)$$

ただし、前記式 (4) 中、 M_{ls2} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 2 に相当する、前記橋脚基部断面に作用する曲げモーメント (N・mm) を示し、 M_{y0} は、前記橋脚基部断面の最外縁にある前記軸方向鉄筋が降伏するときの前記橋脚基部断面に作用する曲げモーメント (N・mm) を示し、 ϕ_{y0} は、前記橋脚基部断面の最外縁に位置する前記軸方向鉄筋が降伏するときの曲率 (1/mm) を示す。

【 0 0 1 9 】

前記式 (4) における、前記曲げモーメント M_{ls2} 、 M_{y0} 及び ϕ_{y0} は、平面保持の仮定が成立するとして求めた前記中立軸からの距離に比例する維ひずみ及び前記維ひず

50

みに対応する応力度が各微小要素内では一定であるとの条件下で、断面の釣り合い条件を満たす前記中立軸を下記式(5)及び(6)により試算したうえ、下記式(7)及び(8)による手順で算出される。なお、 n は、前記橋脚基部における断面内の分割数であり、 i は、 n 分割された前記橋脚基部を表す断面番号であり、 j は、前記橋脚基部断面内における荷重載荷方向の要素番号である。また、前記微小要素とは、前記橋脚基部において n 分割した断面要素を意味する。

【0020】

【数7】

$$N_i = \sum_{j=1}^n \sigma_{cj} \Delta A_{cj} + \sum_{j=1}^n \sigma_{sj} \Delta A_{sj} \quad \dots (5)$$

ただし、前記式(5)中、 N_i は、 i 番目の断面である前記橋脚基部断面に作用する軸力(N)を示し、 σ_{cj} は、 j 番目の前記微小要素内の前記コンクリート躯体の応力度(N/mm^2)を示し、 σ_{sj} は、 j 番目の前記微小要素内の前記軸方向鉄筋の応力度(N/mm^2)を示し、 A_{cj} は、 j 番目の前記微小要素内の前記コンクリート躯体の断面積(mm^2)を示し、 A_{sj} は、 j 番目の前記微小要素内の前記軸方向鉄筋の断面積(mm^2)を示す。

なお、要素分割を行う際の前記コンクリート躯体の要素分割数としては、例えば、50分割程度であり、例えば、前記軸方向鉄筋1本に相当する幅を1要素として要素分割すればよい。

20

【0021】

【数8】

$$M_i = \sum_{j=1}^n \sigma_{cj} x_j \Delta A_{cj} + \sum_{j=1}^n \sigma_{sj} x_j \Delta A_{sj} \quad \dots (6)$$

ただし、前記式(6)中、 M_i は、前記橋脚基部断面に作用する曲げモーメント($N \cdot mm$)を示し、 x_j は、前記微小要素から断面の図心位置までの距離(mm)を示す。

前記橋脚基部断面において、 $\sigma_{sj} = \sigma_{sy}$ (σ_{sy} につき、下記式(8)参照)となるときに $\sigma_{cj} = 0$ とそれ以外との境界線が前記中立軸となる。なお、前記コンクリートの曲げ引張強度 (σ_{bt} 、 N/mm^2) は、0と仮定する。

30

【0022】

【数9】

$$\phi_{y0} = \varepsilon_{sy} / x_s \quad \dots (7)$$

$$\varepsilon_{sy} = \sigma_{sy} / E_s \quad \dots (8)$$

ただし、前記式(7)及び(8)中、 x_s は、前記軸方向鉄筋から前記橋脚基部断面の前記中立軸までの距離(mm)、 σ_{sy} は、前記軸方向鉄筋の降伏ひずみを示し、 σ_{sy} は、前記軸方向鉄筋の降伏応力度(N/mm^2)を示し、 E_s は、前記軸方向鉄筋のヤング係数(N/mm^2)を示す。

【0023】

前記橋脚基部断面における最外縁側に配置された前記軸方向鉄筋に生じるひずみが前記降伏ひずみ σ_{sy} に達したときの曲げモーメント及び曲率を求め、これらを初降伏曲げモ

50

-メント M_{y0} 及び初降伏曲率 ϵ_{y0} とする。最外縁側に配置された前記軸方向鉄筋の引張ひずみが前記限界状態 2 に相当する引張ひずみ ϵ_{st2} に達するときの曲げモーメントを M_{1s2} とする。

ここで、 ϵ_{st2} は、下記式 (9) により与えられる。

【0024】

【数10】

$$\epsilon_{st2} = 0.025 \cdot L_p^{0.15} \phi^{-0.15} \beta_s^{0.2} \beta_{co}^{0.22} \quad \dots (9)$$

ただし、前記式 (9) 中、 ϵ_{st2} は、前記軸方向鉄筋の引張ひずみを算出するための前記軸方向鉄筋の直径 (mm) を示し、 β_s は、前記帯鉄筋の抵抗を表すばね定数 (N/mm^2) を示し、 β_{co} は、前記コンクリート躯体のかぶりコンクリートの抵抗を表すばね定数 (N/mm^2) を示す。

10

ここで、塑性ヒンジ長 L_p (mm) は、下記式 (10) 及び (11) により与えられる。

【0025】

【数11】

$$L_p = 9.5 \sigma_{sy}^{1/6} \beta_n^{-1/3} \phi' \quad \dots (10)$$

$$L_p \leq 0.15h \quad \dots (11)$$

ただし、前記式 (10) , (11) 中、 β_n は、前記軸方向鉄筋のはらみ出しに対する抵抗を表すばね定数 (N/mm^2) を示し、下記式 (12) ~ (14) により与えられる。また、 ϕ' は、前記軸方向鉄筋の直径 (mm) (ただし 40 mm 以上は 40 mm とする) を示し、 h は、前記橋脚基部から橋脚天端までの距離 (mm) を示す。

【0026】

【数12】

$$\beta_n = \beta_s + \beta_{co} \quad \dots (12)$$

$$\beta_s = \frac{384 E_0 I_h}{n_s d'^3 s} \quad \dots (13)$$

$$\beta_{co} = 0.01 c_0 \quad \dots (14)$$

ただし、前記式 (12) ~ (14) 中、 E_0 は、前記帯鉄筋のヤング係数 (N/mm^2) を示し、 I_h は、前記帯鉄筋の断面二次モーメント (mm^4) を示し、 d' は、前記塑性ヒンジ長 L_p を算出するための前記帯鉄筋の有効長 (mm) を示し、 n_s は、前記塑性ヒンジ長 L_p を算出するための前記帯鉄筋の有効長 d' が最も大きい前記コンクリート躯体の部分に配置される圧縮側軸方向鉄筋の本数を示し、 s は、前記帯鉄筋の橋脚高さ方向の配置間隔 (mm) を示し、 c_0 は、前記塑性ヒンジ長 L_p を算出するための前記帯鉄筋の有効長 d' が最も大きい前記コンクリート躯体の部分の最外縁側に配置された前記軸方向鉄筋の最外位置から前記コンクリート躯体の最外縁までの最短距離 (mm) を示す。

40

なお、この算出における前記コンクリート躯体及び前記軸方向鉄筋の各応力 - ひずみ関係は、それぞれ、図 4 , 5 のように設定される。図 4 が前記道路橋示方書 V に準じた前記コンクリートの応力 - ひずみ関係を示す図であり、図 5 が前記道路橋示方書 V に準じた前

50

記軸方向鉄筋の応力 - ひずみ関係を示す図である。

【 0 0 2 7 】

次に、前記式 (2) における前記 ε_{st3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の前記限界状態 3 に達するとき生じる曲率であり、前記耐力階層化鉄筋が配されていない状態の前記 RC 橋脚を仮定して、前記道路橋示方書 V に基づき、下記式 (1 5) ~ (1 8) により与えられる。

ここで、前記 ε_{st3} は、(A) 前記橋脚基部断面の最外縁の前記軸方向鉄筋の引張ひずみが ε_{st3} に達するとき、(B) 前記橋脚基部断面の最外縁の前記コンクリート躯体の圧縮ひずみが ε_{cc1} に達するときの 2 つの状態のうち、先に生じる方の状態における前記橋脚に生じる曲率が該当する。

【 0 0 2 8 】

【 数 1 3 】

$$\varepsilon_{ccl} = \varepsilon_{cc} + \frac{0.5\sigma_{cc}}{E_{des}} \quad \dots (15)$$

$$\varepsilon_{st3} = 0.035 \cdot L_p^{0.15} \phi^{-0.15} \beta_s^{0.2} \beta_{co}^{0.22} \quad \dots (16)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 + 0.033 \beta \frac{\rho_s \sigma_{sy}}{\sigma_{ck}} \quad \dots (17)$$

$$E_{des} = 11.2 \frac{\sigma_{ck}^2}{\rho_s \sigma_{sy}} \quad \dots (18)$$

ただし、前記式 (1 5) ~ (1 8) 中、 ε_{ccl} は、前記帯鉄筋で拘束された前記コンクリート躯体の限界圧縮ひずみを示し、 ε_{cc} は、前記コンクリート躯体が最大圧縮応力度に達するときのひずみを示し、 ε_{cc} は、前記帯鉄筋で拘束された前記コンクリートの最大圧縮応力度 (N / mm²) を示し、 E_{des} は、下降勾配 (N / mm²) を示し、 ε_{st3} は、前記限界状態 3 に相当する前記軸方向鉄筋の引張ひずみを示し、 β は、断面補正係数を示し、矩形断面の場合において $\beta = 0.4$ であり、 β_s は、前記帯鉄筋の体積比を示し、 β_{co} は、前記コンクリートの設計基準強度 (N / mm²) を示す。

【 0 0 2 9 】

引張側遊間長 d_x が前記式 (1) 及び (2) を満足すると、レベル 2 地震動 (前記設計地震動) を超える地震動を受けて初めて耐力階層化鉄筋 4 が作動し、レベル 2 地震動に対する耐震性能を耐力階層化鉄筋 4 以外の構造で担保しつつ、前記極大地震動に対しても耐力階層化鉄筋 4 の作動により橋の機能が損なわれにくくなる耐力階層化の効果を得ることができる。

即ち、地震動による引張力作用時の状態を示す図 6 から理解されるように、前記式 (1) 、 (2) に基づき引張側遊間長 d_x を適切に設定することで、耐力階層化鉄筋 4 は、レベル 2 地震動以下の外力を受けたときには作動せず、レベル 2 地震動を超える地震動 (図 6 中の矢印 A 参照) を受けて初めて引張側遊間が潰され (図 6 中の矢印 B 参照) 、荷重を負担する鉄筋として作動する。

【 0 0 3 0 】

前記平常時における支圧板 5 底面と大中空部 7 の底面部分との間の距離である圧縮側遊間長 d_y としては、下記式 (3) を満足するように形成されることが好ましい。このように圧縮側遊間長 d_y を形成すると、地震動による圧縮力作用時に耐力階層化鉄筋 4 の底端が大中空部 7 の底面部分と当接して座屈することを防ぐことができる。

【 0 0 3 1 】

【数 1 4】

$$dy \geq \int_0^{L_p} \phi_{1s} 'y_{1s} " dl \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

ただし、前記式(3)中、 ϕ_{1s} は、レベル2地震動によって生ずる変位をもたらす前記脚部の前記塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{1s} は、前記曲率 ϕ_{1s} を示すときの前記塑性ヒンジ区間における前記中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示す。

10

【0032】

再び、図1を参照して説明すると、支承部10は、一端がコンクリート躯体2上部の梁部2c上に接続される部材であり、他端が上部構造(不図示)と接続された状態で前記上部構造を支持可能とされる。

支承部10としては、耐力階層化鉄筋4が作動しないときの前記脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せず、耐力階層化鉄筋4の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように破壊強度が設定される必要がある。

例えば、支承部10は、図示の例で、コンクリート躯体2天端上にベースプレート11とセットプレート12との間にゴム支承13が挟持されて構成され、ベースプレート11がアンカーボルト14によりコンクリート躯体2天端に固定されるが、アンカーボルト14の破壊強度を耐力階層化鉄筋4が作動しないときの前記脚部の水平耐力に相当する水平力では損傷せず、耐力階層化鉄筋4の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように設定すると、耐力階層化鉄筋4の降伏前にコンクリート躯体2と前記上部構造とが縁切れされ、耐力階層化鉄筋4の降伏後のコンクリート躯体2の倒壊に基づく落橋等の致命的な損傷を未然に防ぐことができる。

20

なお、破壊が誘導される支承部10における破壊が誘導される部材としては、ゴム支承13や支承部10をセットプレート12を介して前記橋に接続するセットボルト(不図示)であってもよいが、支承部10の構成部材の中でも、破壊後の供用性、復旧性に優れることから、アンカーボルト14が好ましい。

30

【0033】

以上のように構成される耐力階層化RC橋脚1の作用について、図面を参照しつつ、より詳細に説明する。

図7に、前記設計地震動を超える前記極大地震動を受けたときの水平荷重 - 水平変位関係における前記橋脚の想定挙動を示す。

【0034】

前記極大地震動を受けると、先ず初めに外側の軸方向鉄筋3が降伏する状態が生ずる(状態1)。

状態1の段階における耐力階層化RC橋脚1では、大きな損傷がない(図8(a)参照)。

40

【0035】

次に、状態1を迎えた後、地震動のエネルギーがコンクリート躯体2の塑性化に伴って吸収される状態となる(状態2)。

状態2の段階における耐力階層化RC橋脚1では、コンクリート躯体2の塑性化に伴い水平抵抗力を失わない程度の損傷が生ずる(図8(b)参照)。

【0036】

次に、状態2を迎えた後、地震動に基づくコンクリート躯体2の変位がレベル2地震動に相当する変位を超えると、前記引張側遊間がなくなることで耐力階層化鉄筋4が作動し始め、耐荷力が上昇する状態となる(状態3)。

50

状態 3 の段階における耐力階層化 R C 橋脚 1 では、耐力階層化鉄筋 4 により支えられ、橋脚倒壊等の致命的な損傷が抑制される（図 8（c）参照）。

このとき、耐力階層化鉄筋 4 を有さない場合や耐力階層化鉄筋 4 が作動しない場合であると、コンクリート躯体 2 の変位が大きくなり、橋脚倒壊等の致命的な損傷に至る（図 8（d）参照）。

【 0 0 3 7 】

次に、状態 3 を迎えた後、支承部 1 0 が破壊する状態が生ずる（状態 4 ）。

状態 4 の段階における耐力階層化 R C 橋脚 1 では、耐力階層化鉄筋 4 が降伏する前に、支承部 1 0 の破壊による前記上部構造との縁切れが生じ、橋脚倒壊等の致命的な損傷が抑制される（図 8（e）参照）。また、同時に縁切れした前記上部構造は、耐力階層化 R C 橋脚 1 上から逸脱せず、落橋等の致命的な損傷に至らない（図 8（e）参照）。

即ち、支承部 1 0 の破壊により耐力階層化 R C 橋脚 1 と縁切れされた前記上部構造は、耐力階層化 R C 橋脚 1 に対し、ベースプレート 1 1 とコンクリート躯体 2（梁部 2 c）天端との間の摩擦力しか伝えず、耐力階層化 R C 橋脚 1 の倒壊等が抑制されると同時に、前記上部構造は、倒壊等を免れた耐力階層化 R C 橋脚 1 上に残り、致命的な損傷に至らない。

耐力階層化 R C 橋脚 1 では、想定し得ない前記極大地震動が生じたとしても、その後の崩壊シナリオを上記の通り設定し、前記極大地震動の影響を前記支承部の破壊に誘導することで橋脚倒壊による落橋等の致命的な損傷を防ぐことができ、延いては、その後の機能回復に向けた補修を速やかに行うことを可能とする。

【 0 0 3 8 】

なお、本明細書において、前記「状態 1 ~ 4」の用語は、前記道路橋示方書 V における前記「限界状態 1 ~ 3」と区別されることに留意されたい。

前記道路橋示方書 V では、前記限界状態 1 ~ 3 を次のように定義している。

限界状態 1：完全弾塑性型の骨格曲線における弾性限界点。

限界状態 2：部材等の挙動が可逆性を失うものの、耐荷力が想定する範囲内で確保できる限界の状態。

限界状態 3：地震時保有水平耐力を保持できる限界の状態。

【 0 0 3 9 】

これに対し、前記状態 1 ~ 4 は、前記耐力階層化鉄筋を配置した R C 橋脚の挙動を示しており、前記限界状態 1 ~ 3 と関連付けて説明すると、次のように説明できる。

状態 1：前記限界状態 1 と同様の状態である。ただし、前記支承部は損傷しておらず、前記耐力階層化鉄筋が作動していない状態である。

状態 2：前記限界状態 1 ~ 3 の間の状態である。ただし、前記支承部は損傷しておらず、前記耐力階層化鉄筋が作動していない。

状態 3：前記耐力階層化鉄筋が作動し始める状態である。ただし、前記限界状態 1 を超えているが前記限界状態 3 を超えていない。前記限界状態 2 程度であることが望ましい。また、前記支承部は損傷していない。

状態 4：前記耐力階層化鉄筋が作動したことにより前記橋脚の耐力が上昇し、前記支承部が破壊する状態である。ただし、前記限界状態 3 には達していない。

【 0 0 4 0 】

（耐力階層化 R C 橋脚の設計方法）

本発明の耐力階層化 R C 橋脚の設計方法は、本発明の前記耐力階層化 R C 橋脚を設計する方法であり、少なくとも、曲率算出工程、距離算出工程、塑性ヒンジ長算出工程及び引張側遊間設定工程を含み、好適には、更に、圧縮側遊間設定工程及び支承部設定工程等の必要に応じて実施される任意の工程を含む。

【 0 0 4 1 】

前記曲率算出工程は、前記耐力階層化鉄筋が作動しないときにレベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の前記塑性ヒンジ区間における前記曲率 θ_{ps} を算出する工程である。

10

20

30

40

50

前記曲率算出工程としては、前記道路橋示方書Vに基づき設定可能な前記耐力階層化鉄筋が存在しない状態の設定橋脚に対し、レベル2地震動によって生ずる前記変位と、前記塑性ヒンジ区間とを予め算出したうえ、前記変位がもたらす前記塑性ヒンジ区間における曲率 ϕ_{ls}' を算出することで実施することができる。

前記変位及び前記曲率 ϕ_{ls}' の算出方法としては、特に制限はなく、例えば、公知の多質点骨組みモデルに対する荷重漸増解析法において、前記塑性ヒンジ区間にファイバー要素を適用して解析する方法が挙げられる。また、前記塑性ヒンジ区間の算出方法としては、前記道路橋示方書Vに記載の方法が挙げられる。

なお、算出に必要なレベル2地震動としては、前記道路橋示方書Vに示される地震動が挙げられ、例えば、2 - I I - I I - 1 , J R 西日本鷹取駅構内地盤上NS成分等が挙げられる。

10

【0042】

前記距離算出工程は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離 y_{ls}' を算出する工程である。

前記距離算出工程としては、前記耐力階層化鉄筋が存在しない状態の前記設定橋脚に対し、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における中立軸の位置を予め算出したうえで、この中立軸の位置を変えずに前記耐力階層化鉄筋を配した状態における前記耐力階層化RC橋脚において、前記中立軸の位置から前記脚部の前記中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの前記最短距離 y_{ls}' を算出することで、実施することができる。

20

前記中立軸の算出方法としては、特に制限はなく、例えば、公知の多質点骨組みモデルに対する荷重漸増解析法において、前記塑性ヒンジ区間にファイバー要素を適用して解析する方法が挙げられる。また、前記耐力階層化鉄筋の配設位置の設定としては、前記軸方向鉄筋からみて内側に設定される。

【0043】

前記塑性ヒンジ長算出工程は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長 L_p を算出する工程である。

前記塑性ヒンジ長算出工程としては、前記耐力階層化鉄筋が存在しない状態の前記設定橋脚に対し、レベル2地震動によって生ずる前記塑性ヒンジ区間の長さを算出することで実施することができる。

30

前記塑性ヒンジ区間の長さの算出方法としては、特に制限はなく、例えば、前記道路橋示方書Vに記載される方法が挙げられる。

【0044】

前記引張側遊間設定工程は、前記曲率 ϕ_{ls}' 、前記最短距離 y_{ls}' 及び前記塑性ヒンジ長 L_p の算出結果に基づき、下記式(1)及び(2)を満足するように引張側遊間長 d_x を設定する工程である。

【0045】

【数15】

$$dx = \int_0^{Lp} \phi_{ls}' y_{ls}' dl \quad \dots (1)$$

$$\phi_y \leq \phi_{ls}' \leq \phi_{ls3} \quad \dots (2)$$

ただし、前記式(1)、(2)中、 ϕ_{ls}' は、レベル2地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の前記塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{ls}' は、前記曲率 ϕ_{ls}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における前記中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟んで対向する前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示し、 ϕ_y は、前記道路橋示方書Vに示される前

50

記橋脚の限界状態 1 とみなす変位における曲率を示し、 ϕ_{1s3} は、前記道路橋示方書 V に示される前記橋脚の限界状態 3 とみなす変位における曲率を示す。

なお、前記式 (2) における前記曲率 ϕ_y 及び ϕ_{1s3} の設定方法としては、前記橋脚を前記耐力階層化鉄筋が配されていない状態の前記脚部と仮定して、前記道路橋示方書 V に基づき設定する方法が挙げられ、本発明の前記耐力階層化 RC 橋脚について説明した前記曲率 ϕ_y 及び ϕ_{1s3} の設定方法を適用して設定することができる。

【0046】

前記圧縮側遊間設定工程は、前記平常時における前記支圧板底面と前記大中空部の底面部分との間の距離である前記圧縮側遊間長 d_y を下記式 (3) を満足するように設定する工程である。

前記圧縮側遊間設定工程により設計される前記耐力階層化 RC 橋脚では、地震動による圧縮力作用時に前記耐力階層化鉄筋の底端が前記大中空部の底面部分と当接して座屈することを防ぐことができる。

【0047】

【数16】

$$d_y \geq \int_0^{L_p} \phi_{1s}' y_{1s}' dl \quad \dots (3)$$

ただし、前記式 (3) 中、 ϕ_{1s}' は、レベル 2 地震動によって生ずる変位がもたらす前記脚部の前記塑性ヒンジ区間における曲率を示し、 y_{1s}' は、前記曲率 ϕ_{1s}' を示すときの前記塑性ヒンジ区間における前記中立軸の位置から前記脚部の中心軸を挟まない前記耐力階層化鉄筋の配設位置までの最短距離を示し、 L_p は、前記塑性ヒンジ区間の長さである塑性ヒンジ長を示す。

【0048】

前記支承部設定工程は、前記耐力階層化鉄筋が作動しないときの前記脚部の水平耐力に相当する水平力を超え、前記耐力階層化鉄筋の作動により最大に増強される前記脚部の前記水平耐力未満の前記水平耐力に相当する水平力で破壊されるように前記支承部の破壊強度を設定する工程である。

前記支承部設定工程としては、前記耐力階層化鉄筋が存在しない状態の前記設定橋脚の前記水平耐力を算出し、その設定を変えないまま前記耐力階層化鉄筋を配した状態における前記耐力階層化 RC 橋脚の前記耐力階層化鉄筋作動時の最大水平耐力を算出することで実施することができる。

前記設定橋脚の前記水平耐力の算出方法としては、特に制限はなく、例えば、前記ファイバー要素を用いた多質点骨組みモデルに対する荷重漸増解析法等の公知の方法が挙げられる。また、前記耐力階層化鉄筋作動時の最大水平耐力の算出方法としては、特に制限はなく、例えば、前記ファイバー要素を用いた多質点骨組みモデルに対する荷重漸増解析法において、前記耐力階層化鉄筋を圧縮側に抵抗しないように設定し、引張側で所定の変位が生じた後にのみ抵抗するよう設定されたトリリニアモデルの「ばね要素」に置き換えて算出する方法が挙げられる。

前記支承部設定工程により設計される前記耐力階層化 RC 橋脚では、前記耐力階層化鉄筋の降伏前に前記コンクリート躯体と前記上部構造とが縁切れされ、前記耐力階層化鉄筋の降伏に伴う前記コンクリート躯体の倒壊に基づく落橋等の致命的な損傷を未然に防ぐことができる。

【0049】

以下に、前記耐力階層化 RC 橋脚の前記崩壊シナリオ (図 7, 8 等参照) を踏まえた、前記耐力階層化 RC 橋脚の設計方法の好適な実施形態の例を、図 9 を参照しつつ、詳細に説明する。

【0050】

< 1 崩壊シナリオの設定 >

10

20

30

40

50

1.1 橋脚の断面決定

前記橋脚の断面を、前記道路橋示方書Ⅴに示される永続作用、変動作用、偶発作用のそれぞれの支配状況に対して、照査を満足するように設計する。ここで、前記橋脚として、前記道路橋示方書Ⅴに示される曲げ破壊型が先行する橋脚とする。

【0051】

1.2 支承部の設計

前記道路橋示方書Ⅴに従い、前記支承部に作用する水平力を算出し、その水平力に対して、耐荷性能を満足するように前記支承部を設計する。

【0052】

1.3 支承部の破壊モードを設定

前記道路橋示方書Ⅴに準じて、前記アンカーボルトの本数、径を決定したのち、前記アンカーボルトの破断強度の特性値を算出する。

前記支承部のアンカーボルトを前記破壊が誘導される部材とする場合には、前記支承部の前記ゴム支承、前記セットボルトなどの破壊が前記アンカーボルトの破断より先行しないよう、各部材の破壊強度のばらつきを踏まえて断面等を設定する。

【0053】

1.4 耐力階層化鉄筋作動後の橋脚耐力の設定

前記破壊が誘導される部材の破壊強度、橋脚水平耐力のばらつきを考慮し、前記耐力階層化鉄筋作動後の前記橋脚水平耐力を設定する。

【0054】

1.5 橋脚破壊モードの確認

前記破壊が誘導される部材よりも先に、他の破壊形態が先行しないことを確認する。

例として、前記橋脚のせん断破壊が挙げられる。前記破壊が誘導される部材の破壊強度を前記橋脚のせん断耐力の特性値が下回る場合には、前記破壊が誘導される部材が破壊する前に前記橋脚がせん断破壊に至るため、橋脚断面や配筋を見直す。

【0055】

< 2 耐力階層化鉄筋の設計 >

2.1 ファイバー要素を用いた荷重漸増解析の実施

前記耐力階層化鉄筋の遊間設定等を行うために、前記耐力階層化鉄筋を入れずにファイバー要素を用いた解析を行う。この解析では、「1.1 橋脚の断面決定」により決定した前記橋脚の断面をモデル化する。

荷重漸増解析により、前記橋脚の荷重 - 変位関係、前記塑性ヒンジ区間の曲げモーメント - 曲率関係等を算出する。

【0056】

2.2 耐力階層化鉄筋配置の設定

前記耐力階層化鉄筋の配筋位置を設定する。

前記耐力階層化鉄筋の配筋位置は、前記道路橋示方書Ⅴに従い「1.1 橋脚の断面決定」で設定した前記軸方向鉄筋に対し、あきを考慮しつつ、その内側に設定する。

【0057】

2.3 耐力階層化鉄筋の引張側遊間長の目安値設定

前記耐力階層化鉄筋の前記引張側遊間長の目安値を設定する。前記耐力階層化鉄筋を作動させる変位における前記塑性ヒンジ区間の前記曲率及び前記中立軸位置を「2.1 ファイバー要素を用いた荷重漸増解析の実施」の解析結果より抽出する。

抽出した前記曲率及び前記中立軸位置と、算出した塑性ヒンジ長とから、式(1)により、前記引張側遊間長を算出する。

レベル2地震動によって生じる前記橋脚の変位以下で前記耐力階層化鉄筋による耐力上昇が生じると、塑性変形によるエネルギー吸収が期待できなくなるなど、「1.1 橋脚の断面決定」で行った設計が成り立たなくなるおそれがあるため、レベル2地震動によって生じる変位までは、前記耐力階層化鉄筋が作動しないよう、前記耐力階層化鉄筋の前記引張側遊間を決定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 8 】

2.4 耐力階層化鉄筋の諸元設定

「1.4 耐力階層化鉄筋作動後の橋脚耐力の設定」にて設定した前記橋脚水平耐力を満足するように前記耐力階層化鉄筋の本数、径、規格等を設定する。

【 0 0 5 9 】

< 3 設計照査 >

前記耐力階層化鉄筋をモデル化した荷重漸増解析を行う。解析モデルは、「2.1 ファイバー要素を用いた荷重漸増解析の実施」にて作成したモデルに、前記耐力階層化鉄筋を加えたものとする。前記耐力階層化鉄筋のモデル化は、遊間を設けたばね要素としてモデル化する。

10

前記耐力階層化鉄筋を反映したモデルの荷重漸増解析結果より、下記3点について照査し、前記崩壊シナリオが成り立つか確認する。

1点目に、レベル2地震動によって生じる変位以下で、耐力階層化鉄筋が作動しないかを確認する。確認は、荷重漸増解析の荷重—変位曲線より判断することができる。目標とした変位以下で前記耐力階層化鉄筋が作動する場合には、前記耐力階層化鉄筋の前記引張側遊間を見直す。

2点目に、前記耐力階層化鉄筋が作動後の前記橋脚水平耐力を確認する。「1.4 橋脚耐力の設定」にて設定した前記水平耐力が得られていない場合には、前記耐力階層化鉄筋の本数、径、規格等の見直しを行う。

3点目に、必要とする前記破壊が誘導される部材の破壊耐力に到達する前に、前記橋脚が限界状態3を超えていないかを確認する。超えている場合には、前記耐力階層化鉄筋の本数、径、又は前記引張側遊間長を見直す。

20

【 0 0 6 0 】

以上のように構成される本発明の前記耐力階層化RC橋脚の設計方法によれば、前記設計地震動に対する耐震性能を担保しつつ、前記極大地震動に対しても機能全体が損なわれにくい、耐力が階層化された前記耐力階層化RC橋脚を設計することができる。

加えて、前記崩壊シナリオに基づき、前記破壊が誘導される部材に前記支承部の破壊を誘導することで前記橋脚倒壊による落橋等の致命的な損壊を防ぐことができ、その後の機能回復に向けた補修を速やかに行うことが可能な前記耐力階層化RC橋脚を設計することができる。

30

【 実施例 】

【 0 0 6 1 】

本発明の前記耐力階層化RC橋脚及びその設計方法の有効性を確認するため、以下のシミュレーション解析を行った。

【 0 0 6 2 】

< シミュレーション対象 >

前記シミュレーション解析では、典型的な事例として、図10に示す、RC橋脚と杭基礎とで支持される連続桁形式の5径間連続鋼I桁橋を想定した。なお、図10は、前記5径間連続鋼I桁橋の設定を示す説明図である。

前記シミュレーション解析では、前記5径間連続鋼I桁橋における中間の前記RC橋脚を設計対象橋脚として抽出し、単脚の前記RC橋脚について解析を行う。

40

ここで、前記設計対象橋脚は、前記耐力階層化鉄筋の設定を行わない（前記耐力階層化鉄筋を有さない）モデル1と、前記耐力階層化鉄筋の設定を行ったこと以外は、モデル1と同様に設定されるモデル2との二通りで設定した。

具体的なモデル2の配筋図を図11に示す。なお、モデル1では、この図11における「耐力階層化鉄筋」を有さない状態の配筋となる。

なお、前記設計対象橋脚の各部は、図9を参照して説明した方法に基づき、下記表1, 2のように設定した。なお、前記耐力階層化鉄筋は、前記軸方向鉄筋の内側の限られた配置スペースで耐力向上を行うため、高強度のSD490鉄筋を使用する設定としている。

【 0 0 6 3 】

50

【表 1】

項目		単位	値/適用
上部構造	重量	kN	6,963
RC橋脚	橋脚柱高	m	7.5
	橋脚柱幅	m	5.0
	橋脚柱厚	m	2.2
	重量	kN	3,087

【 0 0 6 4 】

【表 2】

項目	鉄筋径	規格	備考
軸方向鉄筋	D32	SD295	
帯鉄筋	D16	SD295	
中間帯鉄筋	D16	SD295	
耐力階層化鉄筋	D32	SD490	モデル2のみ

【 0 0 6 5 】

<シミュレーション条件>

前記シミュレーション解析は、T D A P I I I（株式会社アーク情報システム社製，土木・建築向け汎用3次元動的解析プログラム）を用いて行った。

解析手法は、変位制御の荷重漸増解析を用いた。その際の載荷ステップは0.01mm / stepとし、モデル1で限界状態3とみなす変位以上まで載荷するために200mmまで載荷を行った。

解析モデルは、多質点骨組みモデルを採用した。具体的な前記多質点骨組みモデルを図12に示す。

30

図12に示すように、前記設計対象橋脚に対する前記多質点骨組みモデルは、塑性ヒンジ区間を「ファイバー要素」とし、橋脚上部のはり部及び橋脚基部のフーチング部を「剛部材による線形はり要素」とし、前記塑性ヒンジ区間と前記はり部との間の柱部を「線形はり要素」として、それぞれ設定した。

【 0 0 6 6 】

モデル化された前記軸方向鉄筋及びコンクリートのそれぞれの応力 - ひずみ関係は、前記道路橋示方書Vに基づき設定した（図4，5参照）。ただし、前記コンクリートの応力 - ひずみ関係のうち、限界圧縮ひずみ ϵ_{cc1} 以上のひずみ域では、ひずみ ϵ_c が最大圧縮応力度 σ_{cc} に達するときのひずみ ϵ_{cc} から限界圧縮ひずみ ϵ_{cc1} まで下降した後も、そのままの下降勾配で応力が 0.0 N/mm^2 となるまで低下すると仮定して設定した。前記シミュレーション解析において設定される前記コンクリートの応力 - ひずみ関係を図13に示す。

40

【 0 0 6 7 】

また、前記耐力階層化鉄筋の設定を行うモデル2では、更に、前記耐力階層化鉄筋を「ばね要素」として加える設定を行った。

即ち、前記耐力階層化鉄筋は、前記引張側遊間により所定の変位に達して初めて引張抵抗する作用を示すことから、軸方向の引張にのみ抵抗する非線形の「ばね要素」として設定し、図14に示す荷重 - 変位関係を与えてモデル化した。

ここでは、前記耐力階層化鉄筋における前記引張側遊間に関係して、図9を参照して説

50

明した方法により算出される前記荷重 - 変位関係を設定している。

また、前記耐力階層化鉄筋は、前記圧縮側遊間が前記引張側遊間よりも大きな遊間を有することとして、圧縮抵抗しない設定としている。

また、前記耐力階層化鉄筋の設定に関し、前記耐力階層化鉄筋が作動するまでの前記引張側遊間長は 20 mm と設定し、前記耐力階層化鉄筋が降伏した後の荷重 - 変位関係は、解析上の安定性を確保するため、 10^{-5} kN/m 程度の微小勾配を与えて設定している。

【0068】

<シミュレーション結果>

モデル 1 及びモデル 2 についての荷重漸増解析結果を図 15 に示す。

図 15 中、縦軸が前記設計対象橋脚の水平耐力を示し、横軸が前記設計対象橋脚の橋脚天端における変位を示している。

また、図 15 中に示す限界状態 2 及び限界状態 3 の変位の特性値は、前記道路橋示方書 V に基づいて算出したモデル 1 における変位の特性値である。

この図 15 に示される結果からは、モデル 2 において配置した前記耐力階層化鉄筋の前記引張側遊間を適切に設定することで、次の 2 点の実現できることが確認される。

第 1 に、限界状態 2 に相当する変位まではモデル 1 と同様の応答を示すことから、前記道路橋示方書 V に示されるレベル 2 地震動に相当する荷重が作用する範囲では、モデル 2 もモデル 1 と同様の挙動を示す。

第 2 に、レベル 2 地震動よりも大きな荷重が生じた際、モデル 2 では、モデル 1 と異なり、限界状態 2 を超え限界状態 3 に達する前に水平耐力が上昇する。具体的に、モデル 2 での橋脚の水平耐力は、限界状態 2 に相当する約 5,000 kN から、前記耐力階層化鉄筋が作動することにより約 7,000 kN へ上昇する。

【0069】

以上のシミュレーション結果から、本発明の前記耐力階層化 RC 橋脚では、レベル 2 地震動を超える極大地震動が発生しても、上昇した水平耐力により前記設計対象橋脚の損傷の進展が抑制され、機能が損なわれにくい効果が得られる。

加えて、前記支承部の破壊強度を橋脚の水平耐力の上昇幅である 5,000 kN から 7,000 kN の間に設定しておけば、レベル 2 地震動を超える極大地震動が発生しても、その影響を前記支承部の破壊に誘導することで橋脚倒壊による落橋に至りにくくなり、その後の機能回復に向けた補修を速やかに行うことができる。

なお、前記橋脚構成部材における性能のばらつきを考慮して、前記引張側遊間や前記支承部の破壊強度を見直すこととすれば、より確実に上記効果を得ることができる。

【符号の説明】

【0070】

- 1 耐力階層化 RC 橋脚
- 2 コンクリート躯体
- 2 a フーチング部
- 2 b 柱部
- 2 c 梁部
- 3 軸方向鉄筋
- 4 耐力階層化鉄筋
- 5 支圧板
- 6 中空シース
- 7 大中空部
- 8 帯鉄筋
- 10 支承部
- 11 ベースプレート
- 12 セットプレート
- 13 ゴム支承

10

20

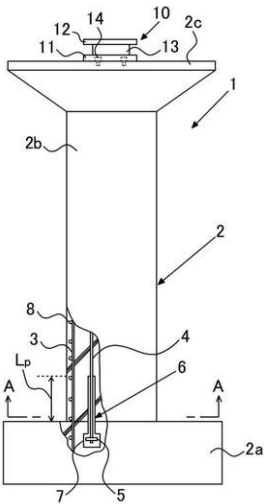
30

40

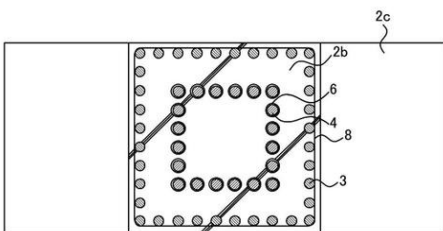
50

1 4 アンカーボルト

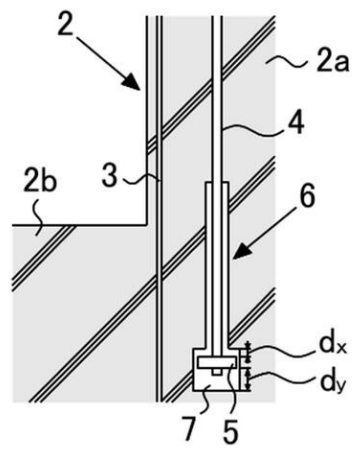
【図1】



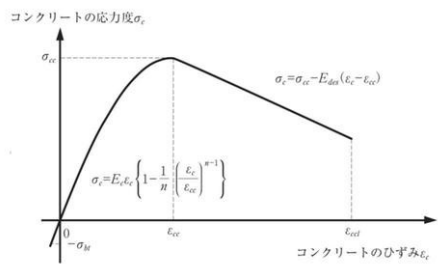
【図2】



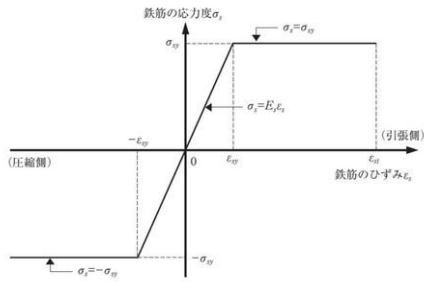
【図3】



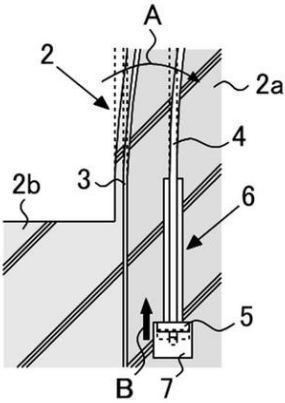
【図4】



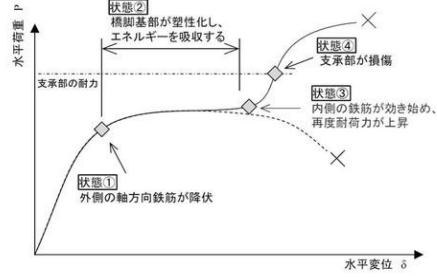
【図5】



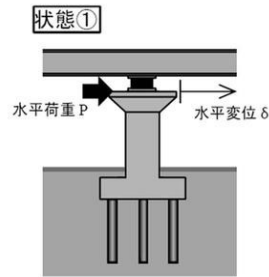
【図6】



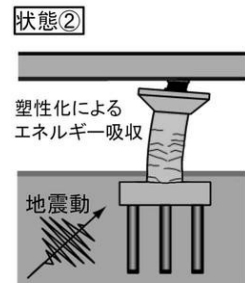
【図7】



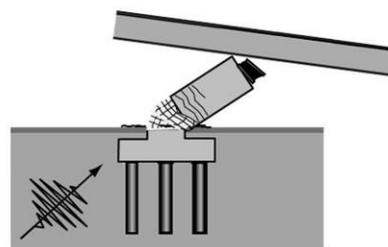
【図8(a)】



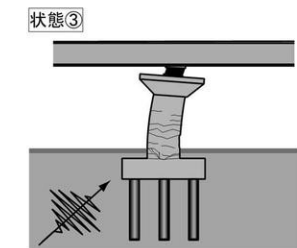
【図8(b)】



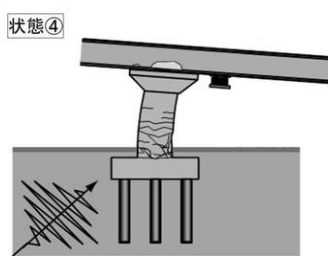
【図8(d)】



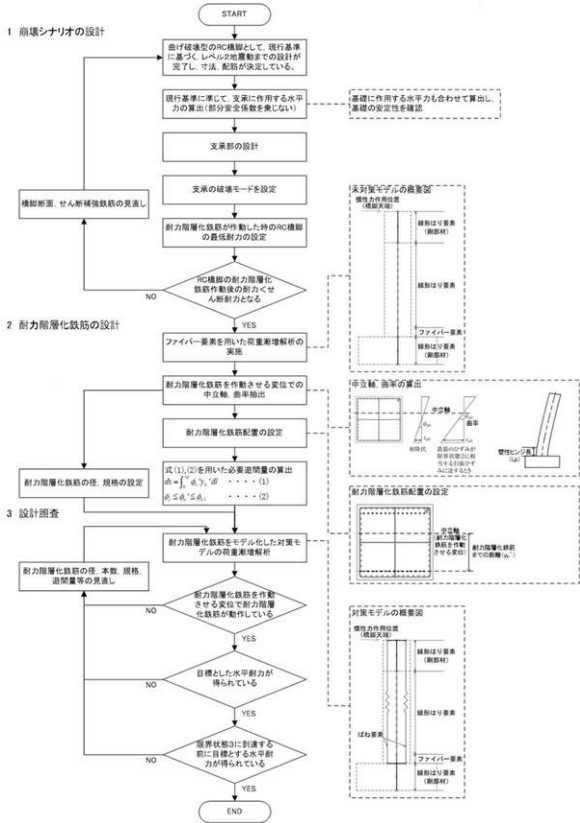
【図8(c)】



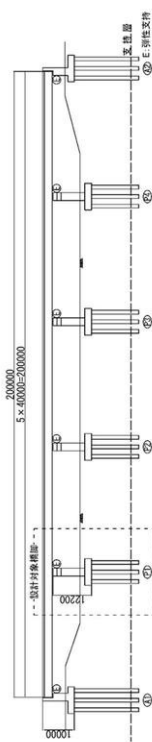
【図8(e)】



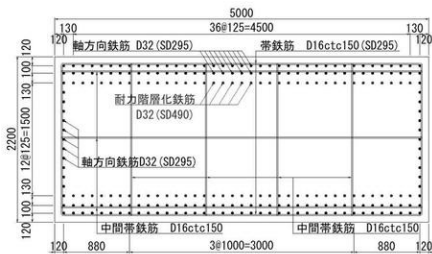
【図9】



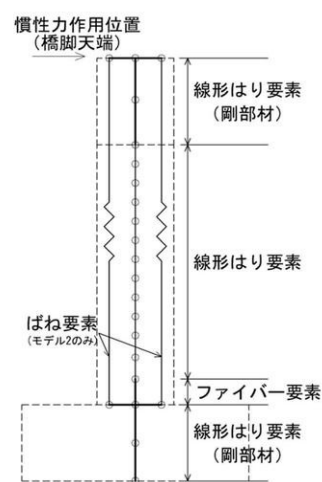
【図10】



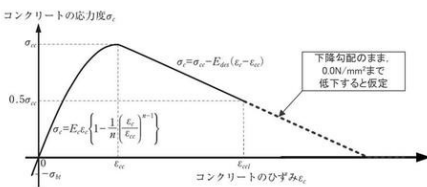
【図11】



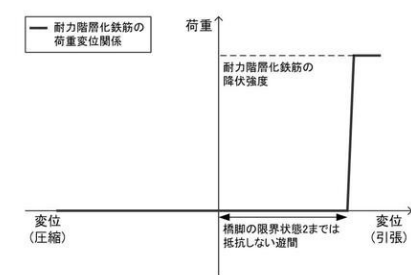
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

