

## 戦-9 液状化に対する新しい基礎構造に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 19～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ(土質・振動)、橋梁構造研究グループ

研究担当者：杉田秀樹，谷本俊輔，中谷昌一，白戸真大，河野哲也

### 【要旨】

近年、既設基礎の耐震補強や新設基礎のコスト縮減を目的として、軟弱粘性土地盤や液状化の発生が懸念される地盤中の道路橋基礎に地盤改良を取り入れた新しい基礎形式の研究開発が多方面で行われており、一部実橋に採用された事例も報告されている。改良地盤といってもその詳細は多岐にわたるが、一部にはセメントを混合して地盤を固結させ、基礎の荷重を分担させるものがあり、人工的に形成された固化体を通常地盤と同様に扱われるケースが見られるが、このような基礎・地盤改良の適用範囲や設計法が確立されていないのが現状である。本研究は、液状化対策としてのセメント固化体と橋脚基礎を併用させる場合の適用範囲を明確にすることを目的としている。本年度は、固化体の材料特性に関して、固化体の強度低下特性を考慮した許容圧縮応力度の設定方法を提案した。また、遠心力模型実験を通して固化改良地盤を設計地盤面・耐震設計上の地盤面として扱うための固化改良範囲に対する知見を得た。

キーワード：基礎、液状化、固化体、疲労特性

### 1. はじめに

地震時に十分な地盤反力を期待できない液状化地盤においては、杭本数、杭径や鉄筋量などの基礎の諸元が増加することから、新しい基礎構造によるコストの縮減が求められている。

近年、既設基礎の耐震補強や新設基礎のコスト縮減を目的として、軟弱粘性土地盤や液状化の発生が懸念される地盤中の道路橋基礎に地盤改良を取り入れた新しい基礎形式の研究開発が多方面で行われており、一部実橋に採用された事例も報告されている。改良地盤といってもその詳細は多岐にわたるが、一部にはセメントを混合して地盤を固結させ、基礎の荷重を分担させるものがあり、人工的に形成された固化体を通常地盤と同様に扱われるケースが見られるが、このような基礎・地盤改良の適用範囲や設計法が確立されていないのが現状である。例えば、改良範囲の設定法とその考え方、基礎の可逆的な復元力特性を得るための固化体の許容応力度の設定方法、大地震により固化体に内部破壊が生じた後の残存耐力特性、改良率や各ソイルセメント柱のラップの有無・度合いによる支持機構の違いやそれを考慮した設計計算法など、構造物基礎に適用するにあたって検討すべき項目が多く残されている。

本年度は、セメント混合土の構造物基礎への適用範囲を明確にすることを目的とし、固化体の繰返し載荷試験を通して、固化体の強度低下特性を考慮した許容圧縮応力度の設定方法を検討する。また、遠心力模型実験を通して固化改良地盤を設計地盤面として扱うための固化改良範囲について検討する。

### 2. 固化体の強度設定に関する検討

#### 2.1. 目的

軟弱地盤にセメントを混合し、その上に直接基礎を有する構造物を造成する工法は、港湾構造物や建築分野などで幅広く利用されている。これを橋梁の基礎に適用するためには、橋梁には供用期間中に車両通過による数百万回という活荷重や地震力等が繰返し作用することから、繰返し荷重に対する強度低下特性を把握しておく必要がある。本文では、セメントを混合して作製した供試体に繰返し一軸圧縮応力を作用させて繰返し載荷に対する強度低下特性を調べた室内実験について報告する。さらに、橋梁の直接基礎の直下セメント混合土に適用する場合の許容圧縮応力度についても提案する。

## 2.2. 実験方法

実験は、一軸圧縮試験機により、円柱供試体に鉛直方向の繰返し荷重を与えるものである。供試体作製に用いた地盤材料は、東北硅砂7号と早強ポルトランドセメントである。これらを混合し、供試体作製用モールドに充填した後、モールドを湿ったウェスで覆い、20°Cの恒温室内で2週間程度湿潤養生させることにより作製した。供試体の目標一軸圧縮強度  $q_{ut}$  は 500、1000、1500kN/m<sup>2</sup> の3パターンとし、養生期間2週間で所定の目標強度となるように砂・水・セメントを配合した。供試体を試験機に設置する際には、ベッディングエラーを軽減するための石膏キャッピングを供試体上面に施した。計測項目は、外部変位計による供試体の軸ひずみ、局所変位計(LDT)による供試体中央部の軸ひずみ、軸応力の3点である。ただし、供試体の破壊時には大変形が生じてLDTが破損する可能性があるため、供試体のひずみが大きくなった時点でLDTを取り外し、以降は外部変位計のみで軸ひずみを計測している。

表-1 に実験条件を示す。実験に使用した供試体は19体であり、軸応力  $q$  として1Hzの正弦波を破壊が生じるまで繰返し与えた。以降、一軸圧縮強度  $q_u$  と繰返し軸応力  $q$  の比を応力比  $S (=q/q_u)$  と呼ぶ。軸応力  $q$  の最大値は応力比  $S$  が所定の値となるように設定し、最小値は供試体上面と載荷板の接触が常に持続するように小さめの値(100kN/m<sup>2</sup>程度)とした。一軸圧縮強度  $q_u$  は、繰返し載荷試験当日に別途実施した3供試体の一軸圧縮強度の平均値である。なお、3体の供試体の一軸圧縮強度の変動係数は10-20%程度であった。応力比  $S$  は、試験装置の能力の関係上、数十回から数千回で固化体が破壊することを想定し、0.7から0.9程度に設定した。ただし、多くの繰返し軸応力を与えても破壊に至らない供試体も存在した(表-1の□)ため、1万回程度で試験を終了した。それらのうち、供試体No.5、6、8、14については、繰返し載荷後に単調載荷を行い、一軸圧縮強度を調べた。なお、表-1には当初想定した応力比  $S$  に加え、繰返し載荷後の一軸圧縮強度  $q_u'$  を用いて算出した応力比  $S' (=q/q_u')$  を( )内に示している。

## 2.3. 実験結果

軸応力と軸ひずみの時刻歴波形の例を図-1 に示すが、軸ひずみは繰返し初期から徐々に蓄積し、供試体の破壊直前から急激に増加している。LDTで計測された軸ひずみの時刻歴から、各サイクルの軸応力の最大時・最小時における値のみを抽出して整理したものが図-2 である。

表-1 実験ケース

No.	破壊有無	材令[目]	セメント添加率[%]	応力比 $S (S')$	一軸圧縮強度 $q_u (q_u')$ [kN/m <sup>2</sup> ]	目標一軸圧縮強度 $q_{ut}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	●	18	7	0.98	487.9	500
2	●			0.93		
3	●			0.93		
4	●			0.90		
5	□			0.85 (0.65)	487.9 (641.6)	
6	□	17	10	0.79 (0.69)	896.9 (1027.1)	1000
7	□			0.89	896.9	
8	□	16	7	0.75 (0.72)	497.0 (517.5)	500
9	●			0.79		
10	●			0.90		
11	●			1.00		
12	●			1.00	991.6	1000
13	●			0.90		
14	□			0.72 (0.66)		
15	●	15	10	0.85	991.6	1000
16	●			0.91		
17	●			0.98		
18	●	14	12	1.11	1300.0	1500
19	●			0.92		

● ... 供試体破壊, □ ... 供試体の破壊なし

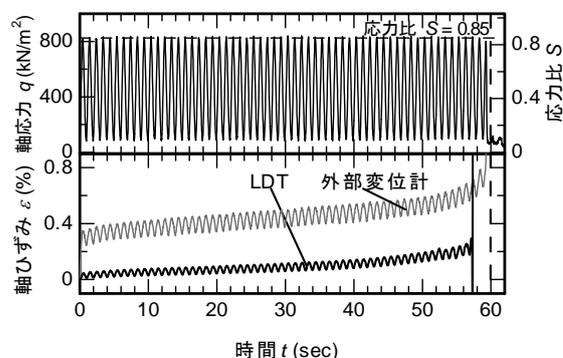


図-1 軸応力と軸ひずみの時刻歴波形の例 (供試体 No.15)

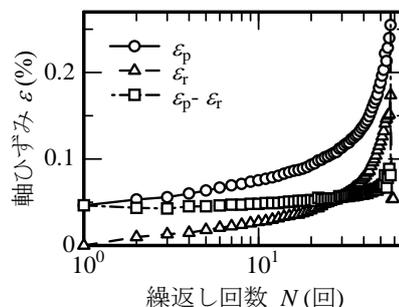


図-2 軸ひずみと繰返し回数の関係

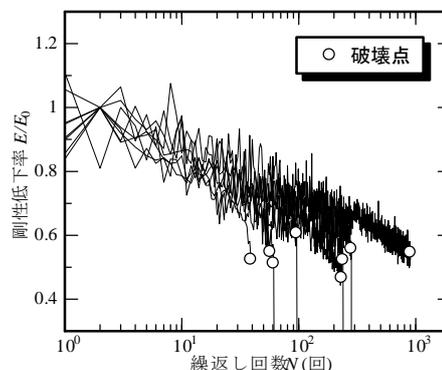


図-3 剛性低下率と繰返し回数の関係

ここで、 $\epsilon_p$  は軸応力最大時、 $\epsilon_r$  は軸応力最小時に対応している。繰返し回数が進むにつれて $\epsilon_p$ 、 $\epsilon_r$ ともに増加し、ひずみが最大値・残留値ともに進展していること、破壊直前の状態になるとひずみの最大値・残留値がいずれも急増することが分かる。

軸応力の最大・最小値の差分を $(\epsilon_p - \epsilon_r)$  で除すことで、図-3のような各サイクルにおける割線剛性の推移を求めることができる。なお、同図は各サイクルにおける割線剛性を初期剛性 $E_0$ で除したものを示しており、初期剛性 $E_0$ としては、同図からも分かるように1回目ないしは2回目の載荷剛性が以降の載荷剛性より著しく小さな値を示し、ベッディングエラーの影響が含まれるものと考えられたため、2回目ないしは3回目の載荷剛性を用いている。同図はLDTにより破壊の直前までひずみが計測できた供試体のみに関するデータであるが、これによると、破壊に至るまで徐々に剛性が低下すること、剛性低下率が0.5~0.6程度にまで低下した時点で破壊に至ることが分かる。

以上のように、繰返し荷重が作用するような構造物に適用する場合には、セメント混合土の破壊は突然発生し、点検等によって予兆を捉えることは困難である。したがって、設計時には、供用期間中に作用する荷重の繰返し回数を考慮したうえで、疲労破壊が生じないような安全余裕を設定しておく必要がある。

図4は、応力比(疲労強度) $S$ と供試体破壊時の繰返し回数 $N$ の関係を示したものである。表-1に示すように、いくつかの供試体は1万回程度の繰返し応力によって破壊に至らなかったが、これらはいずれについても繰返し載荷終了時の剛性低下率 $EE_0$ が0.5~0.6程度に達していたため、破壊に至る直前の状態にあったものと判断し、試験終了時の繰返し回数をプロットしている。また、供試体No.5、6、8、14については、繰返し載荷後に単調載荷を与えて一軸圧縮強度 $q_u'$ を求めているため、参考までに、その値を用いて算出した応力比 $S' (=q/q_u')$ も合わせてプロットしている。表-1からも分かるように、 $q_u'$ は全て $q_u$ を上回っているが、その原因としては、単なる供試体ごとの強度のばらつきの影響や、繰返しによりセメンテーションが部分的に破壊されつつも供試体が密実化し、より強い骨格構造が形成されることで強度が増加したことなどが考えられる。古関ら<sup>1)</sup>は平面ひずみ圧縮条件下で繰返し応力履歴がセメント混合砂の強度に及ぼす影響を調べ、繰返し履歴によって強度が増減する場合があることを示していることから、ここでは繰返し載荷後に調べた強度が初期の強度から変化している可能性があるも

のと考え、全てのケースについて、単に一軸圧縮強度 $q_u$ から算出した応力比 $S$ を用いて整理することとした。

供試体が実際には破壊に至らなかったケースも含め、本実験で得られた応力比 $S$ と繰返し回数 $N$ の関係を直線近似した結果は式(1)のとおりであり、試験値と式(1)から得られる計算値の比の変動係数は9.6%であった。

$$S = 1.05 - 0.062 \log N \quad (1)$$

同図の一点鎖線は、寺師ら<sup>2)</sup>が川崎粘土とセメントの混合土に対して同様の検討を行った結果である。 $S-N$ 関係にはばらつきはあるものの、本実験結果および寺師らの結果ともに、繰返し回数と疲労強度は右下がりの関係にあることが分かる。ただし、飽和粘土を対象にした寺師らの結果は、湿潤砂を対象とした筆者らの実験結果の下方に位置する。これより、セメントと混合させる地盤材料や含水状態の違いにより、繰返し荷重に対する強度低下に違いがあることが考えられる。

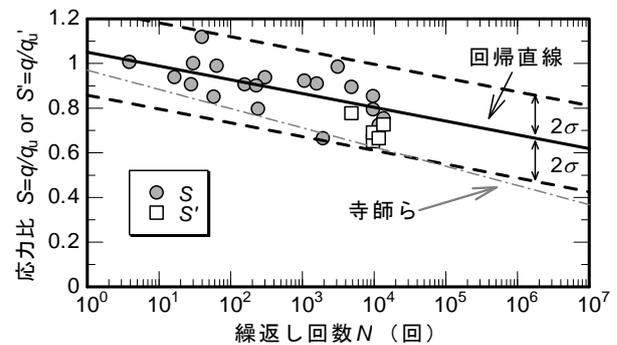


図-4 疲労強度と繰返し回数の関係

次に、図4に示した $S-N$ 関係から繰返し荷重に対する強度低下を考慮した固化体の強度の設定方法を検討する。 $S-N$ の関係が一意に定まれば、供用期間中における常時およびレベル1地震時(以下、L1地震時)の荷重の繰返し回数を考慮して、固化体に必要とされる疲労強度を定めることができる。まず、図4の繰返し載荷試験結果を基に、 $S-N$ の相関式を決定する。ただし、前述のように各供試体の一軸圧縮強度が10~20%程度のばらつきを有することから、図4にプロットされた点自体も縦方向に幅を有することを考えると、安全側に評価しておく必要がある。本研究では、鋼道路橋の疲労設計指針<sup>3)</sup>を参考に最小二乗近似の関係から $-2\sigma$ 下方の破線を $S-N$ 相関式とする。ここに、 $\sigma$ は標準偏差である。次に、常時・L1地震時に作用する荷重の繰返し回数を決定する。本研究では、L1地震動の繰返し回数を、20回程度の繰返しを与える地震が供用期間中に2回程度発生すると仮定して40回程度、常時荷重の繰返し回数を、文献2)を参考に重

交通路線における活荷重の作用回数として 650 万回程度と考えた。このとき、 $S-N$  関係の相関式より、常時の疲労強度比  $S$  が 0.43、L1 地震時の疲労強度比  $S_e$  が 0.75 となる。設計では、式(2)に示すように、一軸圧縮強度  $q_u$  に常時・L1 時の疲労強度比  $S$ 、 $S_e$  を乗ずることで、それぞれの設計状態に対応した許容圧縮応力度  $\sigma_a$ 、 $\sigma_{ae}$  が求まる。

$$\sigma_a = S \cdot q_u \quad (\text{常時}) \quad (2a)$$

$$\sigma_{ae} = S_e \cdot q_u \quad (\text{レベル1 地震時}) \quad (2b)$$

ただし、固化体の疲労強度は原地盤の材料や含水状態等によって変化することが考えられる。今後、これらに関してさらなるデータの蓄積を図る予定である。

### 3. 固化体上の基礎の設計地盤面に関する検討

#### 3.1. 目的

地盤に固化材を混入させて形成された人工物である固化体は、固化範囲が平面的に限定的であるため、十分な広がりを持つ周辺地盤とは異なった挙動を示すことが考えられる。固化体上または固化体を貫通する形で橋梁基礎を設置するときに懸念される固化体の地震時挙動の例として、図-5 に示すように、杭式固化体の各杭が一体的に挙動しないこと、ブロック式固化体が回転振動することが考えられる。構造物基礎の設計では、固化体上面を耐震設計上の地盤面とすることが考えられるが、その前に、固化体単体としての地震時挙動を調べておく必要がある。そこで、固化体の地震時挙動に着目して動的遠心模型実験を行った。

#### 3.2. 実験方法

実験は、独立行政法人土木研究所の大型動的遠心力載荷試験装置にて行われた。遠心加速度は 70G である。図-6 に実験概要を示す。幅 300mm、奥行き 1,500mm、高さ 500mm の剛土槽内に、固化体形式ごとに、加振方向に 3 パターンの幅を有する固化体を作製し、同時に地震動を与えた。以下、全ての物理量を実物スケールに換算した値で示す。

相対密度  $Dr=90\%$  の支持地盤(層 2)を作製し、その上に固化体を設置した。その後、固化体の周辺地盤を  $Dr=60\%$  になるように作製し(層 1)、水の 70 倍の粘性を有するメトローズ水溶液で模型地盤を地表まで飽和させた。これは、層 1 に液状化が生じることで、固化体の地震時挙動が不安定となりやすいような条件を想定して設定したものである。層 1、2 地盤試料は東北硅砂 7 号である。固化体形式は、杭式とブロック式の 2 パターンとした。固化

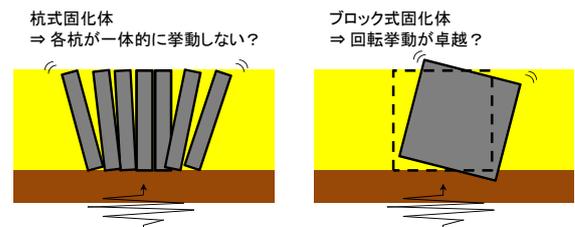
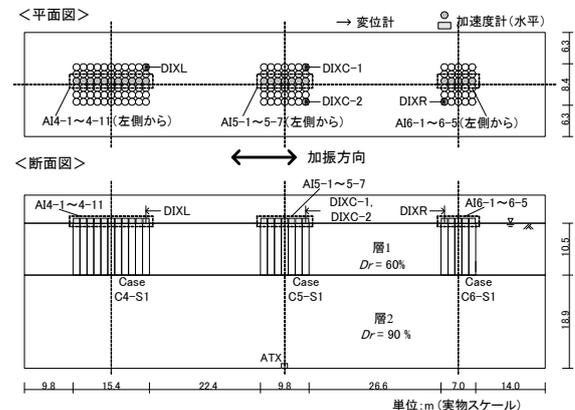
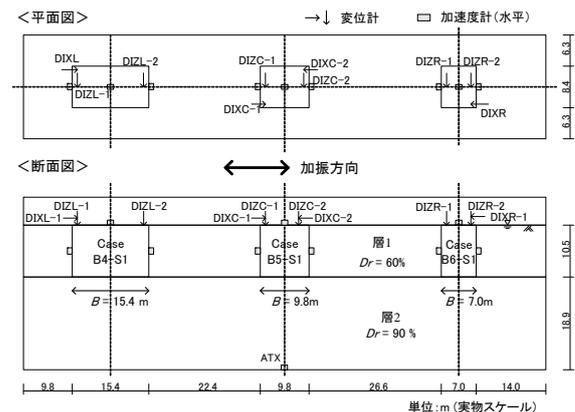


図-5 懸念される固化体の地震時挙動の模式図



(a) CaseC4-S1、CaseC5-S1、CaseC6-S1



(b) CaseB4-S1、CaseB5-S1、CaseB6-S1

図-6 実験概要

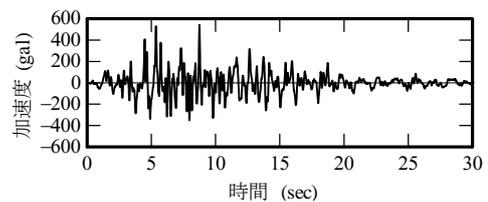


図-7 入力地震動波形 (振動台上の計測値)

体は、目標一軸圧縮強度が  $1,000\text{kN/m}^2$  となるように、東北硅砂 7 号に早強ポルトランドセメントと水を混合させることで作製した。これらの混合体を杭式固化体の場合は円筒形、ブロック式固化体の場合は箱型の型枠内に流し込み、軽い打撃による振動を加えて空気を抜き、 $20^\circ\text{C}$  の恒温室内で湿潤状態にて 10 日間程度養生させた。ただし、実験実施手順の都合上、固化体によっては養生日数

が20日以上のものもあったが、この実験は固化体自体の強度・変形特性に着目するものではないため、問題ないと考えている。杭式固化体は、直径 $\phi$ 1.4m、高さ $H=10.5$ mの円柱を、加振方向に11列(CaseC4-S1)、7列(Case C5-S1)、5列(Case C6-S1)、奥行き方向に6列並べたものである。ブロック式固化体は直方体であり、高さ $H=10.5$ m、加振方向の幅 $B$ は15.4m(CaseB4-S1)、9.8m(CaseB5-S1)、7.0m(CaseB6-S1)の3通り、加振直角方向の幅を8.4mとした。

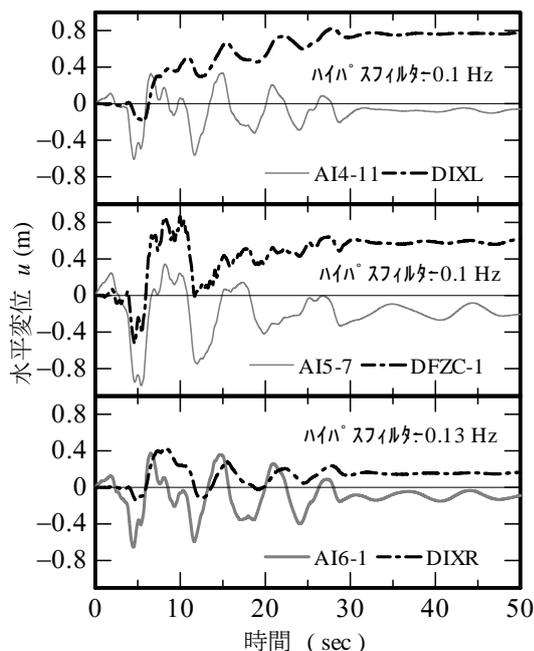


図-8 固化杭上部の変位の計算値と計測値  
(上: CaseC4-S1,中:CaseC5-S1,下:CaseC6-S1)

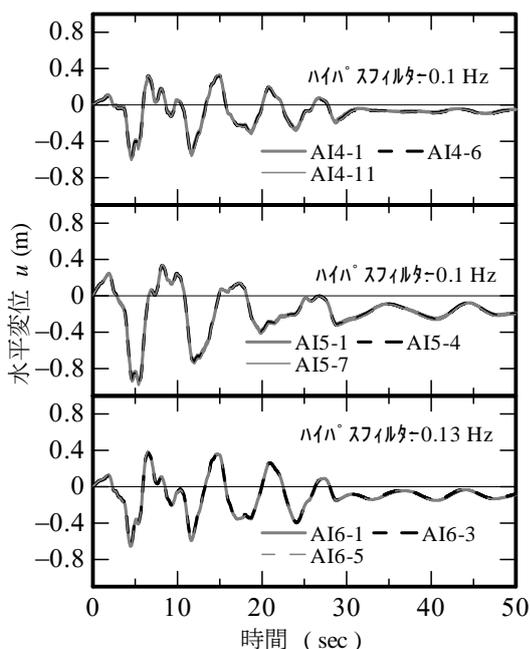


図-9 固化杭上部の水平変位  
(上: CaseC4-S1,中:CaseC5-S1,下:CaseC6-S1)

固化体の設置にあたっては、支持層(層2)の作製後に固化体を土槽内に立て込み、その後に周辺の土層(層1)と杭式固化体の場合は固化杭の間に砂を投入した。ま入力地震動には、図-7に示すような道路橋の設計で考慮するレベル2地震動(タイプII)に相当する基盤地震動波形を用いた<sup>4)</sup>。ただし、振動台の加振能力等を勘案し、振幅を75%としている。

### 3.3. 杭式固化体の地震時挙動

まず、杭群中の各杭の振動中の変位を調べるため、各杭の上部で計測された加速度を2回積分することで求めた変位波形を比較した。ここで、固化杭上部の変位波形は、固化杭上部と土槽底面の相対加速度を0.1~0.13Hzのハイパスフィルタとともに周波数領域で2回積分すること算出した。加速度の2回積分から算出された変位波形には一般に計算誤差が含まれるため、変位計による計測値(DIXL, DIXC-1, DIXR)と加速度計による変位の計算値の比較を図-8に示しておく。変位計は土槽上部に固定されているため、計測されている変位は土槽と固化杭上部の相対変位であり、加速度計からの計算値と同じである。いずれの杭群においても図-10に示すような残留水平変位が生じており、変位計による計測値はそれを捉えているが、加速度計からの計算値はフィルタにより除去されている。しかし、その点を除けば、変位計による計測値の振幅特性、位相特性が概ね再現されていることが確認される。そして、図-9に示す各固化杭上部の変位計算値は、杭群間で見ると多少の差が生じているものの、杭群内の各杭の変位は見分けがつかないほどに一致している。

次に、加振後における杭群中の各杭の残留変位に着目すると、図-10に示す加振後の固化杭上部のスケッチのとおり、杭群中の各杭には一様な残留変位が生じていることが分かる。

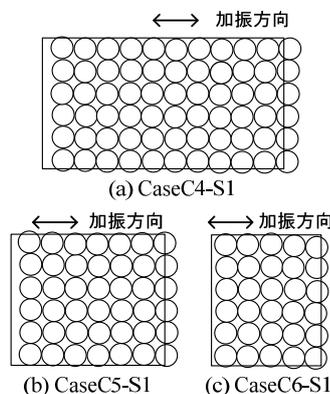


図-10 加振後の固化杭上部の残留変位

このように、本実験では、地表面まで液状化が生じ、固化杭を支持層に根入れすることなく着底させた厳しい条件下で大加振を行ったが、固化杭の杭群は一体的に振動し、地震後においてもバラバラになることなく一様な残留変位が生じることが確認された。この実験条件は杭式固化体の外的安定にとって非常に厳しい条件を想定したものであることから、一般的にも杭式固化体の杭群が地震中・地震後にバラバラになることは考えにくいと思われる。ただし、同じ地盤条件・加振条件でも杭式固化体が基礎を支持している場合は固化体の外的安定性が失われる可能性も考えられ、今後、そのような条件の実験を実施してさらなる検討を加える予定である。

### 3.4. ブロック式固化体の地震時挙動

固化体周辺地盤のせん断ひずみと固化体の回転角の時刻歴を図-11 に示す。周辺地盤のせん断ひずみは、液状化層の上下端の2深度の加速度計計測値の差分から相対加速度を求め、2回積分（ハイパスフィルタ：0.18Hz）により算出した相対変位をセンサー間の距離で除して求めた液状化層の平均せん断ひずみである。固化体の回転角は、固化体上面の左右に設置した鉛直方向の変位計計測値から剛体運動を仮定して算出した値である。周辺地盤の振動変位に追随するように固化体に回転角が生じ、その傾向は固化体の幅が狭くなるにつれて顕著となることが分かる。

固化体の幅  $B$  を高さ  $H$  で除した寸法比  $B/H$  と、水平変位および回転角の最大応答値の関係を図-12 に示す。同図上の水平変位は、固化体上部位置における固化体と剛土槽の相対変位である。図-13 は、固化体の左右端に設置した鉛直方向の加速度計から剛体運動を仮定して算出された固化体の回転加速度である。寸法比  $B/H$  が小さいほど地盤面との相対水平変位および回転角が増加したり、回転加速度が増加したりするなどし、固化体自体の振動が基礎の挙動や橋の挙動に与える影響が懸念される。したがって、固化体上や固化体を貫通して橋梁基礎を設置するためには、「改良地盤」を単にいわゆる「地盤」として扱うべきではなく、改良深さに対して必要な改良幅を設定するなど地盤とみなすための固化体自体の照査法を開発するか、固化体の地震時挙動が橋に与える影響を考慮した構造物全体の設計地震力や基礎及び固化体の安定照査及び部材照査法を開発することが考える。

## 4. まとめと今後の課題

本研究は、液状化に対する新しい基礎構造として、液

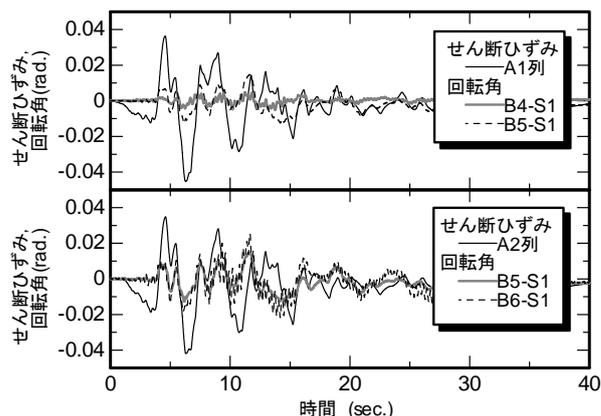


図-11 ブロック式固化体の回転角と周辺地盤のせん断ひずみ

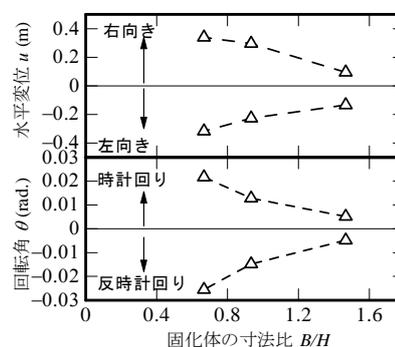


図-12 ブロック式固化体の寸法比と最大応答変位（上：水平変位、下：回転角）

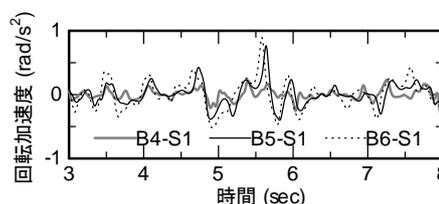


図-13 ブロック式固化体の回転加速度

状化対策としてのセメント混合土の構造物基礎への適用範囲を明確化することを目的に実施するものであり、本年度は、荷重の繰返し作用による固化体の強度低下特性を考慮した一軸圧縮強度の下限値の設定方法、固化改良地盤を設計地盤面・耐震設計上の地盤面として扱うための固化改良範囲について検討を行った。

基礎を支持する固化体は、繰返し荷重の作用によってある段階から急激に剛性低下・破壊を生じ、点検等によってその予兆を捉えることが困難であるため、疲労破壊が生じないような強度を設計段階で設定しておく必要がある。ここでは、供用期間中に作用する荷重の繰返し回数を考慮した上で、疲労特性に基づいて固化体の許容圧縮応力度を設定する方法を提案した。一方、原地盤の土質の違いや水浸の影響等については、今後検討していく

必要がある。さらに、直接基礎だけでなく、杭基礎をセメント混合土に支持させるパターンも想定され、その場合にはセメント混合土と杭との付着特性やセメント混合土の割裂特性、それぞれの疲労強度などを調べるための検討が必要であると考えている。

また、構造物基礎を固化体上に設置する場合、固化体上面を耐震設計上の地盤面とすることが考えられるが、固化範囲が平面的に限定的であるため、十分な広がりを持つ周辺地盤とは異なった地震時挙動を示すか否かについて、実験的に検討を行った。杭式固化体については地震中および地震後においても杭群内の各杭が一体となって挙動することが確認された。一方、ブロック式固化体においては、高さに比して幅が小さいほど固化体単体としての回転挙動が卓越する傾向が確認されたが、どの程度の回転角が許容されるか、基礎に対する入力動の回転成分を考慮する必要性の有無などについて、今後さらなる検討を加える必要がある。

#### 参考文献

- 1) 古関潤一, レヒーナ・サラスモンヘ, 佐藤剛司: 繰返し載荷がセメント改良砂の強度変形特性に及ぼす影響, 生産研究, 55 巻 6 号, pp.75-78, 2003.6.
- 2) 寺師昌明, 田中洋行, 光本司, 本間定吉, 大橋照美: 石灰・セメント系安定処理土の基本的特性に関する研究(第 3 報), 港湾技術研究所報告, 第 22 巻, 第 1 号, pp. 69-96, 1983.3.
- 3) (社)日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002. 3.
- 4) 国土交通省土木研究所耐震技術研究センター振動研究室: 大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査, 平成 12 年度振動研究室調査試験研究成果概要報告書, 第 22 号, pp.19-20, 2001.3.

**TITLE: A STUDY ON NEW METHODS FOR BRIDGE FOUNDATION IN THE LIQUEFIABLE GROUND**

**Abstract:** In order to reduce the costs associated with the a seismic retrofitting of existing foundations and construction of new foundations, soil stabilization of highway bridge foundations has been implemented in recent years in areas where the grounds consist of weak and soft soil deposits as well as those prone to soil liquefaction. In addition, new types of foundations have been researched and developed and case studies of implementation in actual bridges have also been reported. However, neither the application extent of improvement nor the design method applicable for foundations that employ ground improvement has not been well-established to date. In this research, centrifuge tests were performed in order to clarify the application extent of cement-mixing method on highway bridge foundations as liquefaction countermeasure and to perform basic research on bearing capacity and residual deformation under normal and seismic conditions, as well as on the restoration characteristics after large-scale earthquakes. In this fiscal year, cyclic load tests on solidified mass were performed and a method of setting the lower limit of unconfined compressive strength considering the strength degradation of the solidified mass was proposed. Moreover, through centrifuge testing, the extent of solidification improvement in the target ground at a prescribed grade was determined.

**Key words:** foundation, liquefaction, solidification, fatigue characteristics