

固化体上の橋梁の直接基礎に関する遠心模型実験
ーその6：杭式固化体上の橋脚・基礎系の単調水平載荷実験ー

独立行政法人土木研究所 正会員 ○河野哲也, 谷本俊輔, 原田健二
非会員 白戸真大, 中谷昌一
秋田県 非会員 佐藤 洋

1.はじめに 別報¹⁾において、ブロック式の固化体を想定した実験結果について報告し、改良範囲と強度が橋梁下部構造の挙動に及ぼす影響について考察した。同じ実験施設にて、固化体形式を接円配置の杭式（以下杭式）として、同様の実験を実施した。本報においては、その結果と改良範囲や強度が橋梁下部構造の挙動に及ぼす影響について、ブロック式の結果と比較して考察する。

2.実験概要 実験土槽や橋脚模型および地盤・固化体の材料などの実験条件は別報¹⁾と同様である。実験ケースは、表-1 に示すように固化体形式を杭式とした 3 つの単調水平載荷実験である。実験のパラメータは、改良範囲と強度である。以下の物理量は実物スケールに換算した値で示す。ここで、杭式とは、目標一軸圧縮強度が $1,000 \text{ kN/m}^2$ の直径 $\phi 1.4 \text{ m}$ 、長さ 10.5 m の円柱を並べたものであり、それぞれの固化体は連結されていない。CaseC1-H1 は、目標一軸圧縮強度が $1,000 \text{ kN/m}^2$ として作製された固化体を横に 7 列 (9.8 m)、奥行き方向に 6 列 (8.4 m) 並べたものである。CaseC2-H1 は、CaseC1-H1 に対し、同じ目標強度の固化杭を載荷方向に 11 列 (15.4 m)、載荷直角方向に 6 列並べ、載荷方向に幅を広げたケースである。固化体のセメント添加量は、CaseC1-H1, C2-H2 で 10% (147kg/m^3)、C3-H1 で 14% (206kg/m^3) とした。実験前に実施した 3 供試体の一軸圧縮試験強度結果の平均値を表-1 に示す。

表-1 実験ケース

Case	固化体形式	改良範囲	一軸圧縮強度 $q_u \text{ (kN/m}^2\text{)}$
C1-H1 (C1)	杭式	標準	921
C2-H1 (C2)		広幅 (載荷方向)	1,080
C3-H1 (C3)		標準	1,961

3.実験結果 図-1 に全ケースについて、載荷点における水平荷重・水平変位関係を示す。図内の各点は、(a)載荷開始時, (b)浮上り開始時, (c) 最大荷重時, (d)載荷終了時を表している。同図より、固化杭の強度を増加させた CaseC3-H1 では CaseC1-H1 と比べて約 1.5 割程度の最大強度の増加がみられる。一方で、固化杭の強度は同じで幅を増加させた CaseC2-H1 では、Case C1-H1 と比べて、若干の増加しかみられず、最大荷重に及ぼす効果はさほどでない。実験終了後に掘り出して観察したスケッチによる

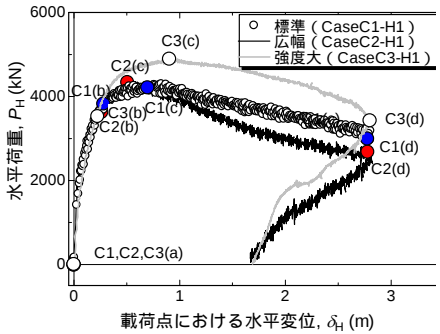


図-1 載荷点における載荷荷重・変位関係

よる損傷状況とO側フーチング端部位置での固化杭天端の沈下量を図-2 平面図に示す。各固化杭の支持地盤への貫入はなく、支持地盤の支持力破壊は確認されていない。載荷方向は図-2 に示す通りであり、すべてのケースでO側の固化杭に曲げ破壊が生じている。固化杭天端の沈下については、CaseC3-H1 のものが最も少なく、他の 2 つのケースの半分程度であった。また、図-2 の写真にみるように、載荷直角方向にはいずれのケースにおいてもフ

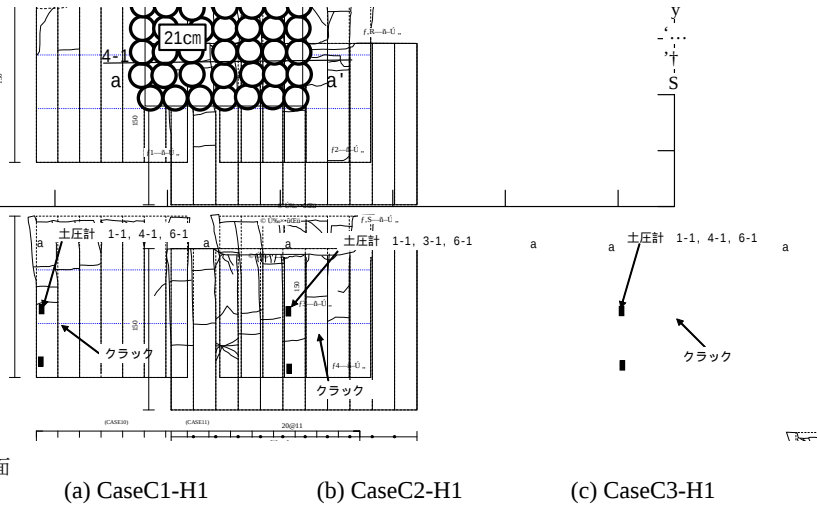


図-2 固化体の損傷状況（上：平面図，下：a-a'断面図）

キーワード：固化体, 直接基礎, 遠心力模型実験

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所, TEL 029-879-6773 FAX 029-879-6739

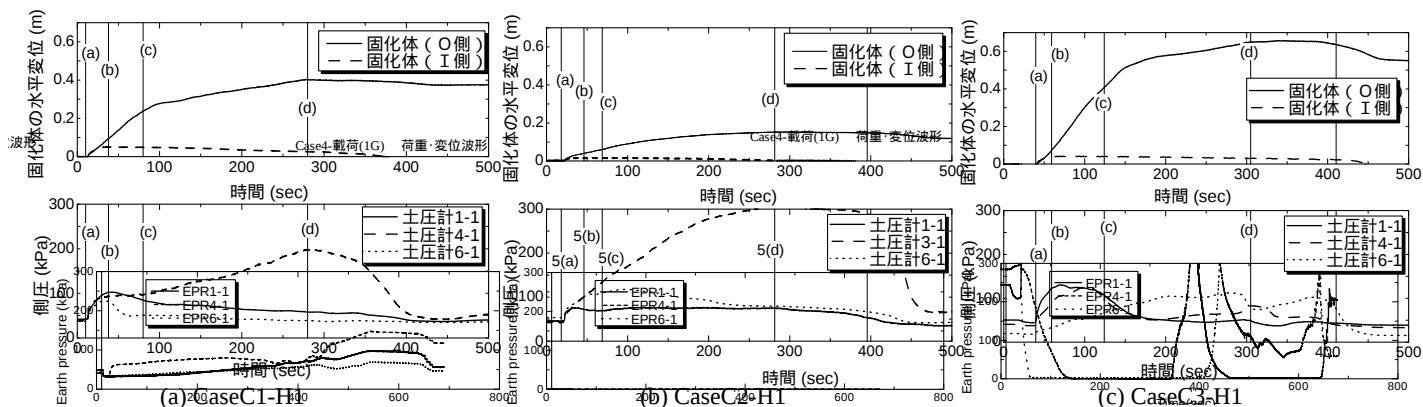


図-3 固化体の水平変位と側圧の時系列

ーチング下端付近に斜めにクラックが生じており、複雑な破壊形態を示していた。図-3に、O側の固化杭に設置された土圧計 1-1, 3-1, 4-1, 6-1 (図-2 参照) と隅角の固化杭上に設置された 2 つ (O側, I側) の水平変位計 (表-1 参照) の時刻歴を示す。図中の(a)-(d)は、それぞれ図-2 の(a)-(d)に対応している。別報¹⁾の通り、ブロック式固化体では、最大荷重点 (c)線) 付近で内部破壊が生じ、固化体の上面の両側の相対変位が生じている¹⁾が、杭式固化体では、その相対変位が载荷の早い段階から生じている。また、固化体が受ける側圧についても、ブロック式のように各測定点で同じように挙動せずに、中央部や端部の値が最大荷重後にも増加するなど、その挙動には一様の傾向はみられない。すなわち、杭式の場合は、ブロック式のように一体的に挙動するのではなく、各固化杭がそれぞればらばらに変形しているものと考えられる。このように、観察や計測データから得られた杭式の場合の挙動は複雑であり、破壊のメカニズムについては今後の課題である。

4. ブロック式との比較による考察

表-2 に別報¹⁾で示したブロック式と図-1 から得られた各ケースの最大荷重を示す。標準ケースの Case B1-H1 と Case C1-H1 で固化体形式による最大強度に及ぼす影響を比較すると、ブロック式のものが 2 割程度大きい。既往の研究²⁾では、固化体で直接支持された港湾構造物を模擬した遠心力模型で水平载荷実験が実施され、その時の最大荷重は 5 倍程度ブロック式のものが杭式に比べて大きかったことが報告されている。その実験での周辺地盤は粘土である。このような固化体形式による挙動の相違は、固化体側面の地盤強度、固化体の強度、鉛直力・転倒モーメント・水平力の比率等に依存すると考えられる。また、杭式の場合は、改良強度を大きくすると最大荷重は増加するが、改良範囲を大きくしても、さほど最大荷重の増加には寄与しない。一方、ブロック式では、改良範囲や強度を大きくすると最大荷重が増加する。杭式の場合

表-2 各ケースの最大荷重

固化体形式	Case	最大荷重 (kN)
ブロック式	B1-H1 (標準)	4,907 (1.00)
	B2-H1 (広幅・载荷方向)	5,556 (1.13)
	B3-H1 (強度大)	5,416 (1.10)
杭式	C1-H1 (標準)	4,209 (1.00)
	C2-H1 (広幅・载荷方向)	4,333 (1.03)
	C3-H1 (強度大)	4,890 (1.16)

() は標準に対する比率

に改良範囲による最大荷重の増加が小さい理由は、その挙動が通常地盤やブロック式固化体と異なり、重ね梁的なものであることが考えられる。また、破壊形態が各固化杭の曲げ破壊であり、標準の改良範囲に追加して設置した固化杭が、基礎直下の固化杭の曲げ抵抗の曲げ変形を抑制する効果が小さいことが考えられる。これより、周辺地盤が液状化した場合には、側圧を期待できず、杭式固化体の挙動が不安定になることも懸念される。

5. まとめ

固化体形式を杭式とした場合について、改良範囲と強度を変え、その影響をみるための単調水平载荷実験を実施した。その結果、改良強度を増加させた場合には標準のものと比べて最大荷重は増加したが、改良範囲を広くしても最大荷重はさほど変わらなかった。今後は、杭式の場合の破壊メカニズムの解明と併せて、最大荷重を増加させる方策や基礎の底面に作用するモーメントと水平力の比率の違いや周辺地盤が粘土の場合の基礎の挙動および固化体の状態に与える影響などについても検討する予定である。

参考文献

1) 原田ら：固化体上の橋梁の直接基礎に関する遠心力模型実験—その 5：ブロック式固化体上の橋脚・基礎系の単調水平载荷実験—，土木学会年次講演会，2009. 2) 北詰ら：接円式深層混合処理地盤の挙動，港湾技術研究所報告，第 30 巻第 2 号，pp.306-326., 1991.