2021年3月15日 土木鋼構造研究シンホジウム

大規模実験に基づく橋台基礎の 耐震補強技術の検討

(国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター(CAESAR) 上席研究員 大住 道生





1. 背景·目的

- 2. 実験概要•結果
- 3. 評価手法の提案
- 4. 評価手法の検証
- 5. まとめ





1. 背景·目的

- 2. 実験概要·結果
- 3. 評価手法の提案
- 4. 評価手法の検証
- 5. まとめ

はじめに



- ▶ 既設橋の4分の1は、液状化に対する設計がない時代に建設。
- ➢ 液状化地盤にある橋の割合を約2割と仮定すると、数%の既設橋で地震時に液 状化による被害等の影響が生じるおそれあり。
- ▶ 橋梁基礎は、一度被害を受けると復旧に多大な時間;

また、補強工事が施工制約・費用大、

→(補強箇所選定のための)精度の高い耐震性能評価手法が必要。



出典:国総研資料第822号「平成25年度道路構造物に関する 出典:土研資料第4037号「橋梁基礎形 出典:土研資料第4168号「既設道路橋 基本データ集」、平成27年1月 研究」、平成22年5月 液状化地盤上の橋台の挙動と損傷状態



既往の被災事例に基づき、大規模地震発生時の液状化に伴う側方流動の 影響を受けた既設橋台の挙動や損傷状態を想定



液状化地盤における既設橋台の地震時挙動(仮説)

損傷イメージ



①桁端部の損傷
 ②支承部の損傷
 ③たて壁の損傷(せん断破壊)
 ④フーチングの損傷
 ⑤杭基礎の損傷
 →被災状況を再現させる実証実験の実施、解析モデルや耐震性能評価手法の開発

耐震補強技術の提案



- ▶ 液状化地盤における既設橋台基礎の対策工法選定のポイント
- ・補強工事で現況交通を阻害しない
- ・液状化に伴う側方流動に対する有効性 など

鋼管矢板壁による耐震補強工法

➤ 前面分離型

杭に作用する流動力を軽減することを目的として、既設橋台前面の液状化層に 鋼管矢板壁を増設する工法。

➤ <u>側面一体型</u>

既設杭が損傷した場合でも、補強鋼管により地震後の橋台の鉛直支持力を確保することを目的として、既設フーチング側面に新たにフーチングと鋼管矢板壁を増設する工法。









1. 背景·目的

2. 実験概要•結果

3. 評価手法の提案

4. 評価手法の検証

5. まとめ



実験全体の概要

▶ 実験シリーズ

液状化層厚

入力地震動の大きさ

シリーズ1: 土木研究所<mark>遠心</mark>実験(60G遠心場、1/60縮小モデル、計12ケース) シリーズ2: 土木研究所振動台実験(1G重力場、1/10縮小モデル、計6ケース)

液状化層

∧ *a*cc

シリーズ3: E-ディフェンス大規模振動台実験(1G重力場、1/4.5縮小モデル、計2ケース)



杭種:PHC杭、既製RC杭

土木研究所振動台実験

▶ 土木研究所の三次元大型振動台と大型剛土槽を用いた振動台実験を実施(半断面模型)

2000

- ▶ 既製RC杭に支持される可動支承側の橋台を対象(S39指針)
- ▶ 縮尺スケール: 1/10
- 鋼管矢板壁による前面分離型補強と 側面一体型補強の効果を検証



三次元大型振動台と大型剛土槽





平面図





9

土木研究所振動台実験

- ▶ 前面分離型補強をした場合、杭の曲げひずみが小さい。前面矢板による液状化 層の変形抑制効果を確認。ただし、降伏ひずみを超過。
- ▶ 側面一体型補強をした場合、既設杭は降伏ひずみを超過。一方で補強鋼管の 曲げひずみは弾性範囲内にとどまり、かつ、せん断耐力は十分に大きい。→既 設杭の損傷後も基礎全体の耐震性や鉛直支持力は確保。



E-ディフェンスによる大規模振動台実験



- 基礎構造の塑性化後の挙動を把握するため、防災科学技術研究所の実大三次元 震動破壊実験施設(E-ディフェンス)による大規模振動台実験を実施(半断面模型)
- ▶ 既製RC杭に支持される可動支承側の既設橋台を対象(S39)
- 縮尺スケール: 1/4.5 \geq
- 側面一体型補強の効果を確認











E-ディフェンスによる大規模振動台実験



<u>E-ディフェンス実験動画</u>



E-ディフェンスによる大規模振動台実験



<u>E-ディフェンス実験動画</u>

E-ディフェンスによる大規模振動台実験



- ▶ 無補強供試体、補強供試体ともに、既設前列杭の前面側の広い範囲で水平方向のひび割れが発生していた(杭頭-0.1m~-1.8mの範囲)。
- ▶ 補強鋼管杭に損傷は確認されなかった。







1.背景·目的 2.実験概要·結果

3. 評価手法の提案

4. 評価手法の検証

5. まとめ





<u>橋台~基礎の耐震性評価モデル</u>



液状化層からの流動圧(土圧)の設定



想定した完全に液状化した地盤の応力状態において、杭の作用土圧の特徴(深 さ方向の分布、杭配置位置の影響、液状化程度FLの影響)を考慮した上で、土圧 EPの定式化を行う。

 $EP = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot q$

- *C*₁: 深さ方向の分布の補正係数
- C2: 杭配置位置の影響の補正係数
- C3:液状化の程度FLの補正係数
- q:盛土の上載圧



液状化層からの流動圧(土圧)の設定

FWR

▶ 深さ方向の分布の補正係数 C1

$$C_1 = 1 - \frac{(x-\alpha)^2}{(1-\alpha)^2}$$
 (a<0.5)

ここに、

xは正規化された液状化層上面からの深さ αは作用土圧の極大点に関するパラメータ (実験結果をフィッティングすることにより求める)





液状化層からの流動圧(土圧)の設定



▶液状化の程度FLの補正係数 C3

求めた補正係数 C_3 と液状化抵抗率 F_2 との相関関係を分析した上で、補正係数 C_3 の回帰式を求める。







1.背景・目的 2.実験概要・結果 3.評価手法の提案

4. 評価手法の検証

5. まとめ

耐震性評価手法の検証ー実験の再現解析ー



【解析対象】液状化の影響を設計に反映しているかをパラメータとした2ケース → シリーズ2のケース1:S39指針に基づいて設計された可動支承側の橋台 → シリーズ2のケース3:H24道示に基づいて設計された可動支承側の橋台







【杭の作用土圧の実験結果と算定結果の比較】

- ≻ケース1:後列及び中列杭では、土圧の算定結果と実験結果の土圧分布形状や土 圧最大値が概ね整合する。
- >ケース3:各列杭の土圧分布形状は、実験結果と算定結果が概ね再現できている。 土圧最大値は、前列杭と中列杭において実験結果が大きいが、後列杭において実験結果と算定結果が概ね整合した。





耐震性評価手法の検証ー実験の再現解析ー



【橋台・杭の変位の比較】

- ▶両ケースともに、橋台躯体では、桁の遊間が詰まり、桁とパラペットが衝突するまで 変位が生じる。
- ▶ケース1の各列杭の変位最大値の位置は、液状化層の中央付近であり、ケース3の 変位最大値の位置は、杭頭付近であった。これは設計基準における遊間の違いに よるものであると考えられる。



耐震性評価手法の検証ー実験の再現解析ー



23

【杭の曲げモーメントの比較】

- >ケース1:各杭列の曲げモーメントの分布形状は、実験結果と解析結果が概ね整合する。曲げモーメントの最大値は、前列杭において最大となる深度が異なるが、中・ 後列杭において両者が概ね整合する。
- >ケース3:各杭列の曲げモーメントの分布形状は、実験結果と解析結果が概ね整合 する。曲げモーメントの最大値は、中・前列杭において解析結果が大きいが、後列 杭において両者が概ね一致する。
- ▶両ケースとも、地中部あるいは杭頭での降伏状態は再現できた。





FVR



耐震性評価手法の検証ー被害実橋の再現解析ー

- ▶実橋Dの被災状況は、桁とたて壁が 衝突し、背面土に押し出され、橋台が 背面側に回転し、杭頭が前面側に大 きく移動したと考えられる。
- ▶解析結果では、載荷直後に桁とパラペット間の遊間がゼロとなり(①)、水平
 震度0.092の時に前列杭が引き抜きの
 上限値に到達し(②)、水平震度0.140の時に杭が終局点に到達する。その後、橋台はそれ以上の荷重が負担できず、変位のみが急に増加する(③)。
 ▶解析において水平変位が75mmで杭の終局を超えた結果は、実被災において杭頭が前面に110mm移動したこ









1. 背景·目的

- 2. 実験概要·結果
- 3. 評価手法の提案
- 4. 評価手法の検証
- 5. まとめ



大規模地震発生時において、液状化に伴う側方流動により 被害を受ける可能性がある既設道路橋に対して、

耐震性評価手法について

▶ 遠心や振動台実験の結果を用いて、液状化に伴う側方流動による杭の作用土圧をモデル化し、液状化の被害パターンに応じて既設道路橋の耐震性評価手法を提案した。

耐震補強工法について

- ▶ 補強工事に現況交通を阻害しないことを考慮した上で、鋼管矢板壁による 補強工法(前面分離型・側面一体型)を提案した。
- ▶ また、液状化に伴う側方流動に対して提案した補強工法の有効性を大規 模振動台実験より確認した。





本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プ ログラム(SIP)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人:JST)の一環とし て実施したものです。また、東京工業大学高橋章浩教授、ならびに、(一社)鋼管 杭・鋼矢板技術協会との共同研究として実施しているものです。 ここに記して謝意を表します。

ご清聴ありがとうございました!