

旧橋の木杭載荷試験

大阪支店 土木事業部 富田 徹
 大阪支店 土木事業部 高山明久

1. 目的

昭和初期に竣工の春日出橋は、平成7年の阪神・淡路大震災のときにも大きな被害はなく供用されてきたが、機能低下などのため、架け替えられることになり、工事の際に、旧橋の基礎である木杭が健全な状態で確認された。

一方、大阪市内には木杭を基礎とする多数の、昭和初期などに竣工した橋梁が存在し、道路拡幅などの橋梁架け替え時の撤去に多くの費用をかけている。したがって、今回明らかになった木杭を存置して利用することができれば社会資本整備におけるコスト縮減に寄与することから、木杭の特性について調査を行ったものである。調査位置を図-1に示す。

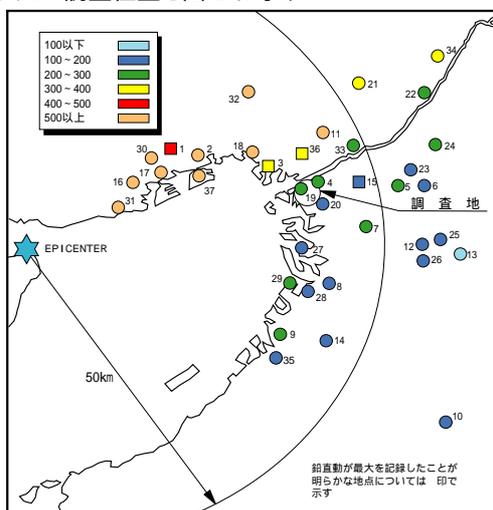


図-1 調査位置案内図

2. 調査内容

木杭の支持力特性を把握するための鉛直載荷試験、水平抵抗に関する特性を把握するための水平交番載荷試験、および杭周辺地盤の状態を把握するためのボーリングや原位置試験、室内試験を行った。

各調査の実施地点を図-2に示す。

地盤調査は、木杭に囲まれた地点1箇所と木杭から離れた地点1箇所で行った。

木杭に囲まれた地点1箇所と木杭から離れた地点1箇所で行った。ボーリング調査を実施した。木杭の状況は、写真-1に示すように、杭引抜き後、外観を観察、切断面の観察および圧縮試験を実施した。また、図-3に鉛直載荷試験、図-4に水平交番載荷試験の概要図を示す。



写真-1 木杭の切断面

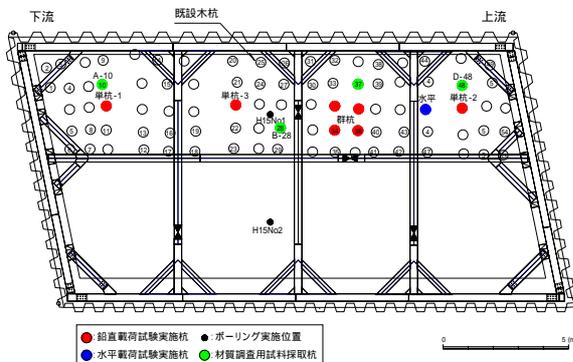


図-2 各調査の実施箇所

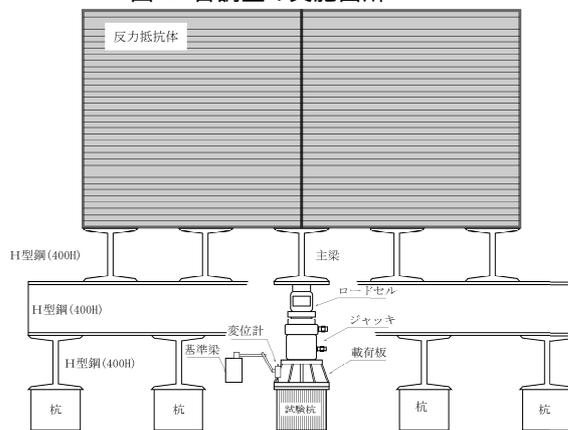


図-3 鉛直載荷試験(単杭の事例)

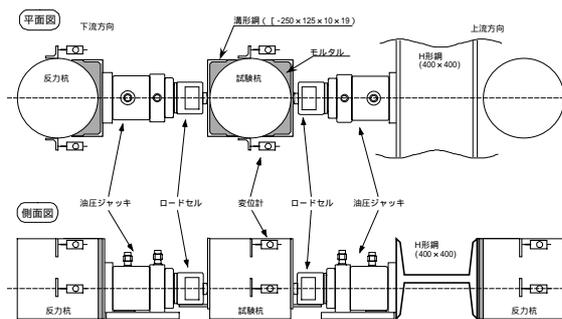


図-4 水平交番載荷試験(単杭の事例)

3. 調査結果

(1) 地盤調査結果

図-5に室内土質試験結果の深度分布図を示す。含水比は、杭間側と杭外側の差が顕著で、杭打設の影響が現れたと判断される。一軸強度は杭外側に比べて増加していることが窺える。

(2) 木杭の材質調査結果

引き抜いた木杭の外観は健全であり、杭の寸法は概ね設計図面に示されている寸法(長さ約15m、頭部直径30~35cm、末口直径20~25cm)であった。これらを観察した結果、特に腐食は見られなかった。圧縮強度は、心部が平均17.0~24.5N/mm²であり、辺部が26.6~40.2N/mm²であった。

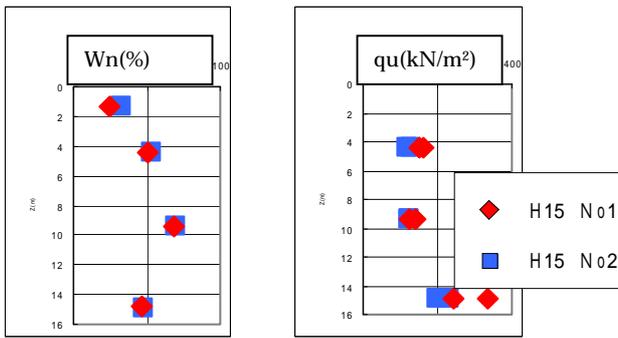


図-5 室内土質試験結果深度分布図

(3) 鉛直載荷試験結果

鉛直載荷試験の鉛直支持力特性を、表-1 に示す。

第1 限界抵抗力は、各算出手法の結果を総合的に判定して、logP - logS 曲線から算出された荷重を採用した。第2 限界抵抗力は、変位量が0.1Dを超えた新規荷重段階の荷重を採用した。

表-1 鉛直載荷試験の鉛直支持力特性

| 試験名 | 第1 限界抵抗力 (kN) | 第2 限界抵抗力 (kN) | 鉛直ばね定数 Kv (kN/mm) |
|--------|---------------|---------------|-------------------|
| | | | (適用荷重(kN)) |
| 単杭 - 1 | 506 | 800 | 169(300) |
| 単杭 - 2 | 389 | 700 | 154(300) |
| 単杭 - 3 | 388 | 700 | 122(300) |
| 群杭 | - | - | 329(800) |

(4) 水平交番載荷試験

水平変位量から求めた水平地盤反力係数は一定の相関があることが判った。これより、実測水平変位量から求められる水平地盤反力係数は妥当であることが評価できた。よって、水平地盤反力係数 k は、実測水平変位量から算出した結果を用いて、荷重 P との関係から式(1)で表すことができる。結果を図-6 に示す。

水平ばね定数は、正荷重載荷と負荷重載荷を比較するとほぼ同じ値となり、載荷方向に関係がないことが判った。水平ばね定数 Kh と荷重 P の関係は、式(2)で表すことができる。

$$k = -3.4 + \frac{4007}{(P+12.0)} \quad (1) \quad Kh = 1.0 + \frac{503}{(P+28.0)} \quad (2)$$

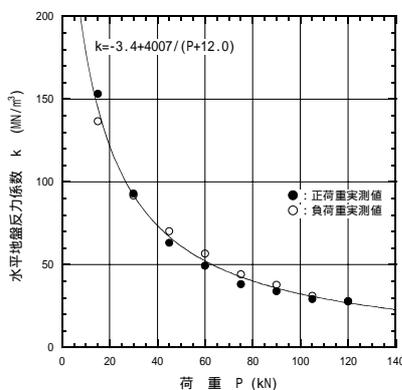


図-6 水平変位から算出した水平地盤反力係数

4. 考察

(1) 地盤調査結果と鉛直載荷試験からの妥当性の評価

杭間と杭外で行われたボーリング調査から得られた孔内水平載荷試験結果(地盤係数, 降伏圧)と土質試験結果(一軸圧縮

強さ, 圧密降伏応力)の各係数での杭間/杭外とした。これらの結果を表-2 に示す。すべての係数で杭効果比は1.0以上となり、木杭によって地盤が締め固められていると判断できる。

表-2 各試験結果と杭効果比

| 調査項目 | 試験項目 | | 試料番号 | 深度 | 杭間 | 杭外 | 杭効果比 (杭間/杭外) | |
|----------|--------|----|-------|-----|---------------|--------|--------------|-------|
| | 一軸圧縮強さ | qu | | | | | | kN/m² |
| 土質試験 | 一軸圧縮強さ | qu | kN/m² | T-1 | 4.00 ~ 4.80 | 157.0 | 122.0 | 1.3 |
| | | | | T-2 | 9.00 ~ 9.80 | 131.9 | 123.8 | 1.1 |
| | | | | T-3 | 14.50 ~ 15.30 | 289.6 | 216.6 | 1.3 |
| | 圧密降伏応力 | pc | kN/m² | T-1 | 4.00 ~ 4.80 | 167.0 | 134.0 | 1.2 |
| | | | | T-2 | 9.00 ~ 9.80 | 139.0 | 139.0 | 1.0 |
| | | | | T-3 | 14.50 ~ 15.30 | 309.0 | 242.0 | 1.3 |
| 孔内水平載荷試験 | 降伏圧 | Py | kN/m² | - | - | 132.33 | 82.25 | 1.6 |
| | 地盤係数 | Km | kN/m² | - | - | 45.099 | 39.297 | 1.1 |

次に、一軸圧縮試験結果から周面抵抗力を算出して、鉛直載荷試験から得られた第2 限界抵抗力との比較・検討を行うため、一軸圧縮強さから求める粘着力を用いて周面抵抗力を算出した。その結果と木杭の諸元をまとめて表-3 示す。

表-3 木杭の周面抵抗力の算出結果

| 計画段階 | 杭効果比 (杭間/杭外) | 一軸圧縮強さ (kN/m²) | 粘着力 (kN/m²) | 杭長 (m) | 杭頭部直径 (m) | 杭先端部直径 (m) | 周面抵抗力 (kN) |
|------|--------------|----------------|-------------|--------|-----------|------------|------------|
| | | | | | | | |
| 計画段階 | - | - | 44.1 | 15.0 | 0.35 | 0.20 | 573.3 |
| 既設 | - | - | 44.1 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 608.6 |
| 杭外側 | T-1 | 122.0 | 61.0 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 839.2 |
| | T-2 | 123.8 | 61.9 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 851.6 |
| | T-3 | 216.6 | 108.3 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 1489.9 |
| 杭内側 | T-1 | 157.0 | 78.5 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 1083.3 |
| | T-2 | 131.9 | 66.0 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 910.8 |
| | T-3 | 289.6 | 144.8 | 15.1 | 0.33 | 0.25 | 1998.2 |

これより、今回の調査結果から得られた、周面抵抗力(910.8 ~ 1083.3kN)は、安全率(1/3 ~ 1/4)として、許容押込力はそれぞれ(303 ~ 361kN), (227 ~ 270kN)となり、土質調査から推定される許容押し込み力より、鉛直載荷試験で得られた第1限界抵抗力(388 ~ 506kN)の方が大きいことから、今回の鉛直載荷試験で得られた杭の支持力は妥当と判断される。

(2) 木杭の材質調査結果

全体的な木杭の圧縮強度は、概ね 17.0 ~ 40N/mm² である。長期許容応力度は、これら材料強度の 1/3 であるとしても、一般的な木材の許容圧縮応力度(6 ~ 7N/mm²)を概ね上回っている。このことから、春日出橋において打設後 70 年経った現在でも、その強度は維持されていると判断される。

大正 12 年に竣工した丸の内ビルで確認された米松の事例でも、杭の腐食はほとんど見られず健全であったことが報告されている。これは、地下水面以下に存在し、大気に触れる環境ではなかったことで腐朽菌の侵入が不可能であったからと判断される。

5. 課題と展望

今回の調査から、春日出橋における木杭は、阪神・淡路大震災時に当該地で発生した加速度 200gal ~ 300gal (中規模地震)までは概ね耐えられることが判った。しかし、現行の設計基準から、評価すると、許容水平変位量に関しては、必ずしも安全であるという評価は得られなかった。今後、種々の地盤条件、支持条件で、調査を実施し、データを蓄積していく必要がある。これをふまえて、優先順位を決めて、有効利用できるものはするという観点で、補強の可能性、架け替えの可能性を判断していく必要がある。

Keywords: 木杭, 鉛直載荷試験, 水平交番載荷試験