

PC 模型杭載荷試験におけるせん断耐力の解析的検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○河口 大輔, 澤田 守, 大住 道生

1. はじめに

古い基準で設計された既設道路橋基礎では、レベル2地震動に対する耐震性能の照査を満足しないことが多く、耐震補強が必要と判断されることも多い。しかし、実際には基礎の被害は多くは確認されておらず、耐震性能の評価精度を向上させる必要があると考えられ、既設橋基礎に対しては、耐荷機構に照らして限界状態を超えないことを精度よく照査する方法を構築することで、より適切かつ合理的に耐震性の評価が可能となると考えられる。

本報では、過年度に行った PC 杭を再現した模型杭を用いた載荷試験¹⁾における推定せん断耐力との乖離を解析により検証した結果について報告する。

2. 再現解析対象

解析対象とした載荷試験における PC 杭の諸元を表-1、載荷試験概要を図-1 に示す。さらに、載荷試験結果と推定せん断耐力について表-2 に示す。解析対象はせん断破壊となった Case-1 とした。文献 1) においては、載荷試験結果との比較のために、複数の方法でせん断耐力を推定しており、その中で最も精度よくせん断耐力を推定できた平成 29 年道路橋示方書・同解説IV²⁾より規定された PHC 杭のせん断耐力算定式(以下、H29 道示 PHC 杭式と呼称)においても載荷試験結果が推定値の 2 倍程度となっており、大きな乖離があった。

3. 有限要素解析

3. 1 解析モデルの設定

解析は、有限要素解析を行った。PC 杭では、コンクリートは全ひずみひび割れモデル(引張: JSCE 引張軟化, 圧縮: コンクリート標準示方書対応モデル)、軸方向に配置された PC 鋼材及びらせん鉄筋は非線形モデル(Von Mises 塑性モデル)としてモデル化を行った。材料強度は載荷試験時に行った材料試験結果から実強度を用いた。なお、らせん鉄筋の降伏強度は、引張強度の 0.2%耐力とした。載荷試験において用いた治具は剛体とし、載荷試験時に治具と杭体の間詰に用いた石膏については、圧縮強度のみを規格値とし、コンクリートとしてモデル化した。解析ケースは、載荷試験における推定せん断耐力との乖離は治具による拘束効果の影響が大きいと考え、載荷試験を再現した Case-1 と治具を半割とした Case-2 の 2 ケースを解析した。それぞれの解析モデルを図-2 に示す。

表-1 PC 杭諸元

Case	せん断スパン比	杭径 (mm)	壁厚 (mm)	配筋		コンクリート強度 (N/mm ²)
				PC鋼材 (有効プレストレス)	スバイラル鉄筋	
1	1.0	500	90	φ9×24本 (10N/mm ²)	φ6	50
2	1.5					
3	2.0					
4	2.5					

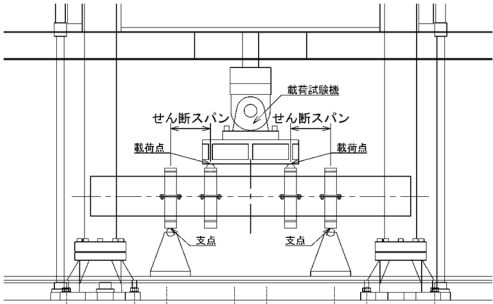
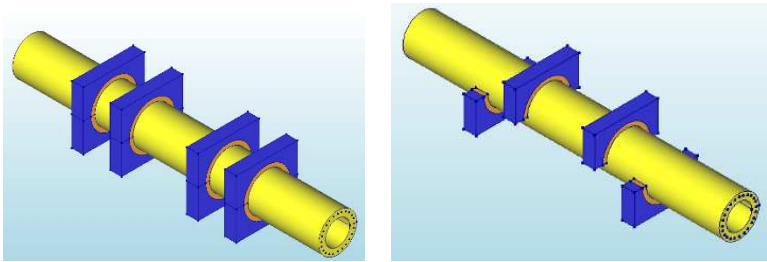


図-1 載荷試験概要図

表-2 載荷試験結果と推定せん断耐力

せん断耐力推定式	H29道示PHC式
コンクリートが負担するせん断力 (kN)	347.3
コンクリート負担分の割合	0.76
鉄筋が負担するせん断力 (kN)	17.2
鉄筋負担分の割合	0.04
軸力によって増加するせん断力 (kN)	91.0
軸力増加分の割合	0.20
合計せん断耐力S (kN)	455.5
実験結果 (kN)	882.5
実験結果 / 推定値	1.94



(a) Case-1 (b) Case-2

図-2 解析モデル

キーワード PC 杭, 解析, せん断耐力

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 CAESAR TEL. 029-879-6773

3. 2 解析結果

図-2において示した解析モデルを用いて、解析を行った。各ケースのひび割れ応力及び荷重変位関係を図-3、図-4にそれぞれ示す。解析結果をみると、Case-1においては、荷重試験と同様に荷重点と支点を結ぶ斜めひび割れが支配的であり、Case-1の最大荷重は2073kNとなった。荷重試験最大荷重1766kNと比較すると、荷重試験結果を上回る最大荷重となるが、大きな乖離ではなく荷重試験の再現性は高いと考えられる。

また、Case-1とCase-2を比較すると、Case-1においては、斜めひび割れ以外に、荷重点間に多少の曲げひび割れが確認できるが、Case-2においては、杭全体に微小なひび割れが確認できる。これを解析ステップごとに確認すると、荷重点直下に曲げひび割れが発生し、荷重が進むにつれて杭全体に広がっていくことが確認できた。これは、治具を半割としたことで、治具による拘束効果がなくなったことによるものと考えられる。ただし、最終的に支配的となるひび割れはCase-1と同様の斜めひび割れであると考えられる。また、最大荷重においては、Case-1と比較してCase-2では、27%程度低減されており、Case-2において治具による拘束効果がなくなったことによる多数の微小なひび割れによるものと考えられる。

次に、表-3 に示すように解析結果で得られた低減率を荷重試験結果に考慮した場合、推定荷重 911kN に対して、低減した荷重試験荷重は 1289kN となり、推定荷重の 1.41 倍となった。また、推定荷重におけるせん断スパン比は 1.0 として推定しているが、荷重試験におけるせん断スパンは治具の芯々で確保しており、治具による拘束の影響によりせん断スパンが治具の内々であったと仮定すると、せん断スパンは 350mm となり、せん断スパン比は 0.7 程度となる。これを踏まえた推定荷重は、1170kN となり、解析結果を踏まえて低減した荷重荷重と比較すると、荷重荷重は推定荷重の 1.1 倍程度となった。以上より荷重実験時には、治具及び石膏による拘束効果の影響が強く、せん断スパン比も小さくなり、最大荷重が大きくなった可能性が考えられる。

4. まとめ

本報では、過年度行った PC 模型杭荷重試験を対象に、有限要素解析を行い、荷重試験結果と推定せん断耐力の乖離の要因について検証するため、荷重試験結果と解析結果の比較を行った。Case-1 と Case-2 を比較すると、最大荷重は 27%程度低減した。この低減率を荷重試験結果に見込み、H29 道示 PHC 杭式による推定せん断耐力との比較を行った結果、荷重試験における設定の通りせん断スパン比 1.0 の場合で、最大荷重は推定値の 1.4 倍程度であり、治具により拘束された結果、せん断スパン比が小さくなったと仮定した場合では、最大荷重は推定値の 1.1 倍程度となり、H29 道示 PHC 杭式において PC 杭のせん断耐力を推定した場合でも精度は高いと考えられる。しかし、PC 杭のせん断荷重試験の事例は多くなく、今後も実験による知見を増やしていく必要がある。

参考文献 1) 河口ら：せん断破壊に着目した PC 杭の模型実験，第 22 回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集，2019.7.
2) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2017.11.

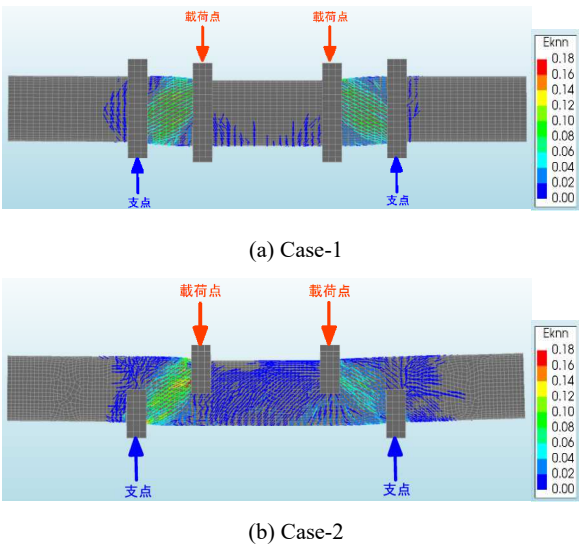


図-3 解析結果（ひび割れ応力）

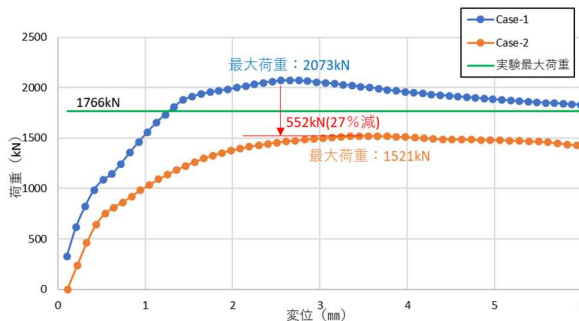


図-4 荷重変位関係

表-3 荷重試験結果と推定せん断耐力

PC杭実験結果		
載荷試験最大荷重	1766kN	
H29道示PHC杭式での推定荷重	911kN	
実験結果/推定耐力	1.94	
解析結果		
Case-1	2073kN	
Case-2	1521kN	
比率	0.73	
解析結果を見込んだ場合		
載荷試験最大荷重	1766kN	
解析の低減率(0.73)を見込んだ場合	1289kN	
せん断スパン比	治具芯々(500mm)	治具内々(350mm)
	1.0	0.7
H29道示PHC杭式での推定荷重	911kN	1170kN
比率	1.41	1.10