

損傷抑制型結合方式を用いた杭基礎構造の地震時挙動

その1 静的非線形解析

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○岩田 秀治, 鈴木 亨, 高橋 佑斗
 鉄道総合技術研究所 正会員 佐名川 太亮, 村田 和哉
 中央大学 正会員 西岡 英俊

1. はじめに

阪神大震災や東日本大震災など、近年の巨大地震の甚大な被害に鑑み改訂された耐震設計基準の設計想定地震動は大きなものとなり、鉄道耐震基準の想定地震動においては、最大で弾性応答 2.6G となる¹⁾。それに伴い構造部材の耐力は増加の一途を辿り、その結果、構造物自体は大型化してきている。特に地中構築の杭部材は、地上構築部材と比べ損傷度を低くする設計的配慮も加わり、杭径・杭長・鉄筋量が増大し建設コストが増加となる傾向にある。これらの課題に対し、杭の高性能化、スリム化および低コスト化を図ることを目的とし、合理的な杭基礎構造の一つである損傷抑制型結合方式に関して、合理的な杭構造に関する検討委員会を発足させ検討している。本稿では、その中の解析検討について示す。

2. 損傷抑制型結合方式の杭基礎構造と

設計の考え方

杭とフーチング等の結合部の構造形式は、杭頭の引張軸力に対する構造条件として、杭頭の引張軸力に抵抗できる「完全定着」と抵抗できない「非定着」に分類できる。また、杭頭の曲げモーメントに対する構造条件としては、**図1**に示すように杭頭固定度の違いとして「剛結合」、「ヒンジ結合」およびその中間の特性を示す「半剛結合」に分類される。加えて、「剛結合」であっても降伏後も部材の損傷程度を軽減するなど復旧性に配慮された特殊な構造は「損傷抑制型構造」と区分される^{2), 3)}。

杭頭部の曲げモーメント

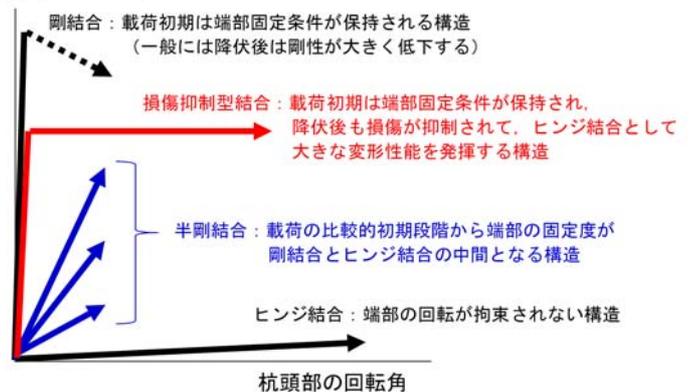


図1 結合部の構造形式に応じた杭頭部の回転角と曲げモーメントの関係

損傷抑制型杭頭部とした場合、基礎先行降伏となっても、その後も抵抗力が増加しつづけることを活用し、その途中で上部構造物が降伏して、それ以降は上部構造物が主たるエネルギー吸収部位とするように設計する⁴⁾。一方で地震被災後に部材を簡易な補修で修復可能とするためには、軸方向鉄筋の破断はできるだけ回避しておく必要があり、また、この構造の適用は基礎先行降伏を許容するため、上部構造先行降伏で設計した場合と同程度の復旧性を確保する必要もある⁵⁾。

3. 静的非線形解析

損傷抑制型杭頭部の優位性を検証するため、対象構造 (**図2**) において地盤種別は G4 地盤、杭本数 16 本 (4×4)、杭長 29.0m の条件で、損傷抑制型杭頭構造の適用の有無および地中部の杭の損傷の許容の有無による静的非線形解析結果の比較を**表1**、各々の損傷図および荷重変位曲線を**図3**~**図5**に示す。

損傷抑制型を適用しない場合は、杭径 $\phi 1500$ となり、引抜側に降伏箇所が集中し、地中部においても杭が一部降伏する。損傷抑制型を適用し地中部の損傷を許容しない場合は、杭径 $\phi 1300$ となり、全ての杭頭部が降伏し、最大応答震度が低くなり、地中部は無損傷となる。また、損傷抑制型を適用し地中部の損傷を許容

キーワード：損傷抑制型結合、杭構造、密帯鉄筋、耐震設計、静的非線形解析

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 JR 東海 技術開発部 TEL 0568-47-5375

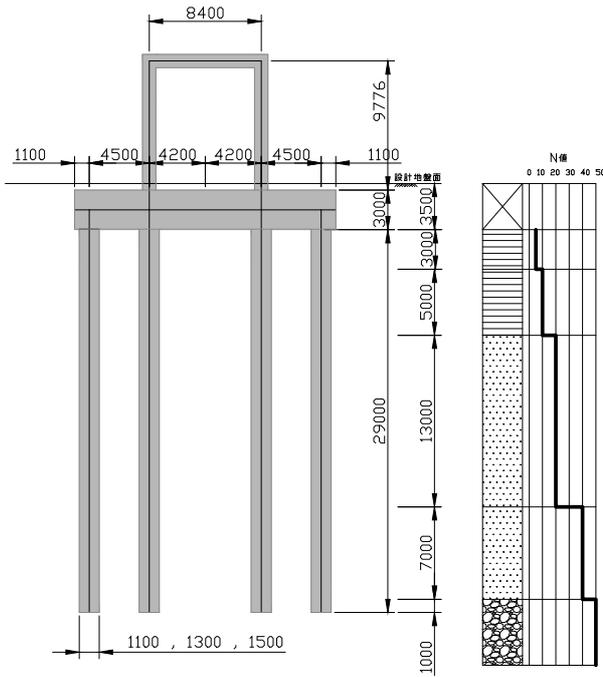


図2 対象構造物

する場合は、杭径φ1100となり、全ての杭頭部および4本中2本の地中部が降伏することで変形性能がさらに増し、最大応答震度がより小さくなる。これら結果から、損傷抑制型を適用すると杭径縮小できると考える。

4. まとめ

損傷抑制型を適用することにより、杭径縮小が可能となり低コスト化は図れると考えるが、杭地中部を無損傷とするには鉄筋量が増える傾向にある。また、杭地中部の損傷を許容すると更なる低コスト化が図れるが、被災後の損傷度の確認や復旧が困難と想定するため、当面は杭頭部のみ損傷を許容する事とし、今後は各種設計条件での試設計を実施し、適用範囲の拡大、展開を図り、実務に反映させたいと考えている。

最後に、合理的な杭構造に関する検討委員会にて委員長 龍岡岡夫 東京大学名誉教授、副委員長 石田哲也 東京大学大学院教授ら委員の方々に貴重なご指導を賜りましたこと、ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012.3.
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）2012.1.
- 3) 岩田秀治，鈴木亨，伊藤太郎，西岡英俊：杭頭部の半剛結化の載荷実験，土木学会第72回年次学術講演会，I-458，2017.9.
- 4) 木全伯光，轟俊太郎，岩田秀治，陶山雄介：帯鉄筋を密に配置した損傷抑制型結合構造を有する杭頭部の変形性能算定手法，コンクリート工学年次論文集，2018.7.
- 5) 高橋佑斗，岩田秀治，鈴木亨：杭頭部被災復旧時の補修法の検討，土木学会第74回年次学術講演会，2019.9.（投稿中）

表1 解析結果比較

	損傷抑制型 杭頭構造： 未適用	損傷抑制型 杭頭構造：適用	
		地中部の損傷を 許容しない	地中部の損傷を 許容する
地盤種別	G4地盤		
杭本数	16本(4×4)		
杭長	29.0m		
杭径	φ1500mm	φ1300mm	φ1100mm
杭体積	51.2m ³	38.5m ³ (×0.75)	27.6m ³ (×0.54)
主鉄筋量(杭頭部)	45600mm ²	50166mm ² (×1.10)	54726mm ² (×1.20)
主鉄筋量(地中部)	45600mm ²	63846mm ² (×1.40)	72966mm ² (×1.60)
最大応答震度 kh _{max}	1.070	0.998	0.902
基礎天端水平変位 δ	59.0mm	107.0mm	154.0mm
橋脚天端水平変位 δ	103.8mm	183.3mm	213.4mm
等価固有周期 T _{eq}	0.523sec	0.686sec	0.730sec

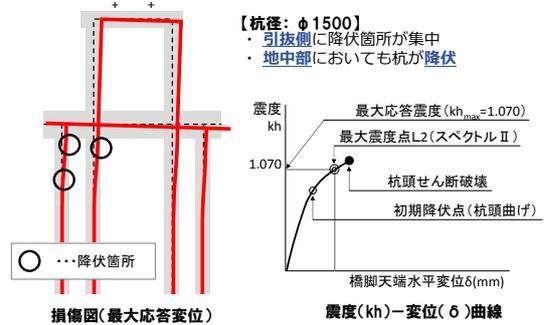


図3 損傷抑制型を適用しないケース

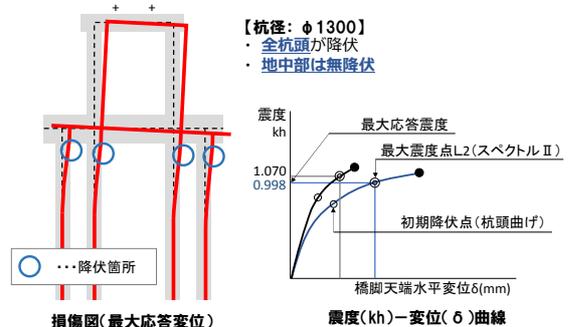


図4 損傷抑制型を適用し地中部の損傷を許容しないケース

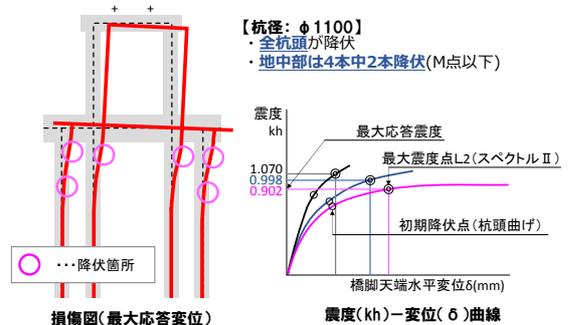


図5 損傷抑制型を適用し地中部の損傷を許容するケース