

京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
京都大学工学部

フェロー
正会員
学生員
学生員

土岐憲三
清野純史
小野祐輔
○古川愛子

1. はじめに

地盤-構造物系の相互作用の持つ影響は非常に大きいため、相互作用を適切に評価し設計に組み入れる事は非常に重要である。相互作用系では一般に、相互作用の効果を等価バネで表現する3自由度2質点系 Sway-Rocking モデル（以下、SR モデル）がよく用いられているが、現時点においては相互作用バネを評価する手法は確立されていない。そこで本研究では、Pushover 解析に基づいて相互作用バネの簡易な評価を試みた。また、有限要素法による詳細解析結果との比較を行い、Pushover 解析の妥当性を検討した。最後に、得られた相互作用バネを用いて相互作用効果が構造物の耐震性能に及ぼす影響についての検討を行った。

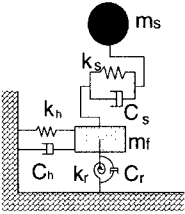


図 1: SR モデル

2. 解析モデル

解析対象構造物は図2のような橋脚を支持する杭基礎構造物とする。杭長は20mである。基礎周辺の地盤モデルは図3のようなA、B2つのモデルを用いる。地盤AはN値50以上の支持層の上に軟弱粘土層が20m堆積する地盤であり、地盤Bは支持層の上に軟弱粘土層が15m堆積し、さらにその上に比較的堅固な砂層が5m堆積する地盤である。解析モデルは図4のような非線形梁要素とし、フーチングは剛体、各杭はフーチングに剛結とした。杭体の曲げモーメントー曲率関係は軸力変動を考慮したトリリニアモデルを用いた。また、地盤の影響は地盤バネで表現し、水平方向地盤バネの復元力特性は完全弾塑性型モデル、鉛直方向は線形モデルとした。

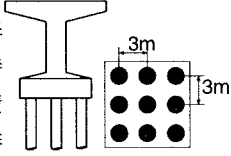
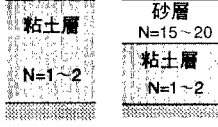


図 2: 杭基礎

3. 相互作用バネの算定

本研究では Pushover 解析に基づいて相互作用バネを算定することを目的としている。Pushover 解析とは、非弾性系に対する荷重漸増法のことであり、荷重を段階的に作用させることによって、構造物の保有性能を求めることができる。水平方向の相互作用バネを算定する際は、フーチング中心に水平力のみを段階的に作用させ、載荷点での水平力ー水平変位関係を求めた。同様に回転方向の相互作用バネの算定に際しては、フーチング中心での曲げモーメントー回転角関係を求めた。本研究では、相互作用バネを双曲線の Hardin-Drnevich 型モデル（以下、H-D モデル）でモデル化した。H-D モデルは本来、土の応力-ひずみ関係を表すものであるが、ここでは復元力-変位の関係を表すものとして拡張し、骨格曲線を次式で定義する。ここで、 K_0 は初期剛性、 Q_f は降伏力、 x_f は規準化変位を表している。



(a) 地盤 A (b) 地盤 B

図 3: 地盤モデル

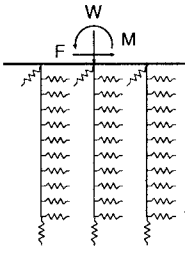


図 4: 解析モデル

4. 解析結果

Pushover 解析結果を H-D モデルで同定した。得られた相互作用バネの初期剛性（水平方向 K_h [MN/m]、回転方向 K_r [MNm/rad]）、降伏力（水平方向 Q_h [MN]、回転方向 Q_r [MNm]）を表1に示す。水平・回転方向ともに杭径が大きくなるほど、初期剛性、降伏力ともに大きくなる。また、いずれのケースも地盤Aより地盤Bの方が初期剛性、降伏力ともに大きく、地盤による違いは回転方向よりも水平方向で顕著であり、水平方向の相互作用バネは地盤の影響を強く受けることが分かる。

表 1: 相互作用バネの同定結果

	杭径	K_h	Q_h	K_r	Q_r
A	1.0m	229.299	48.3471	7098.69	297.564
	1.2m	336.866	71.0304	12578.5	383.906
	1.5m	534.767	112.626	25339.9	585.376
B	1.0m	394.973	122.544	7997.47	432.165
	1.2m	557.952	170.106	13987.5	503.683
	1.5m	802.768	277.157	27274.4	723.514

5. 有限要素法による詳細解析との比較

Pushover 解析の妥当性を調べるため、有限要素法 (FEM) による詳細解析結果¹⁾との比較を行った。ここでは杭体の変形が弾性領域に収まると仮定し、地盤のみの非弾性特性を考慮して解析したものを比較した。両解析結果の比較を図5に示す。両解析は比較的良好一致を示しており、また地盤の違いの影響は水平方向で顕著であるという共通の傾向を示す。砂地盤を含む地盤Bで、杭径の大きいケースでは Pushover 解析が有限要素法をやや上回る傾向が見られるが、この理由は群杭効果によるものと考えられる。本研究では、地盤バネ定数の群杭効果の補正係数は、道路橋示方書²⁾に従い一律の値を採用しているが、実際は杭中心間隔に対して杭径が大きくなるにつれて低減効果を大きく評価する必要があるものと考えられる。解析結果は地盤バネや群杭効果の補正係数の影響を受けるため、これらの適切な値を決めることができれば Pushover 解析によって有限要素法と同精度の結果が期待できると考えられる。

6. 相互作用を考慮した必要強度スペクトル

Pushover 解析によって得られた相互作用バネを用いて SR モデルを構築し、軟弱地盤中 (地盤 A) に位置する杭基礎を持つ橋脚の必要強度スペクトルを求めた。本研究で求めた必要強度スペクトルは、上部構造物の塑性率をパラメータとして縦軸に固有周期、横軸に降伏力をとったものである。また、基礎固定の1自由度モデルとの比較を行い、相互作用が必要強度に与える影響について検討した。上部構造物は剛性比 0.02 のバイリニアモデルで減衰定数は2%、重量は10MN、杭基礎の減衰定数は水平・回転方向ともに10%、重量は20MNとした。橋脚の高さは12m、基礎の慣性モーメントは4362MN・m²とした。入力地震動としては1995年兵庫県南部地震の加速度波形のNS成分を用いた。

得られた必要強度スペクトルを図6に示す。図より、相互作用を考慮することで、基礎固定の必要強度を低減できること、この低減効果は杭径が小さいほど大きいことがわかる。杭径が大きいケースでは塑性率が大きくなると基礎固定の必要強度を上回る場合もあるが、杭径が小さいケースでは全ての塑性率で基礎固定の必要強度を低減する効果が示されている。必要強度の低減のみを考えるなら杭径を小さくすればよいが、過度に基礎を弱くすると、上部構造物を安全に支えるという基礎本来の役目を失うことになる。こうした兼ね合いの中、安全性を確保した上で必要強度を低減する有効な手法が望まれる。

7. 結論

本研究では Pushover 解析によって相互作用バネを算定する手法を構築した。また有限要素法解析結果との比較を行い、Pushover 解析の妥当性を検討できた。最後に Pushover 解析結果を用いて杭基礎を持つ橋脚の必要強度スペクトルを算出し、相互作用を考慮することにより必要強度が低減できることが分かった。

参考文献: 1) 小野祐輔: 地盤—構造物系の相互作用を考慮した必要強度スペクトルに関する研究: 京都大学修士論文, 1999, 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 下部構造編, 耐震設計編, 1996.12

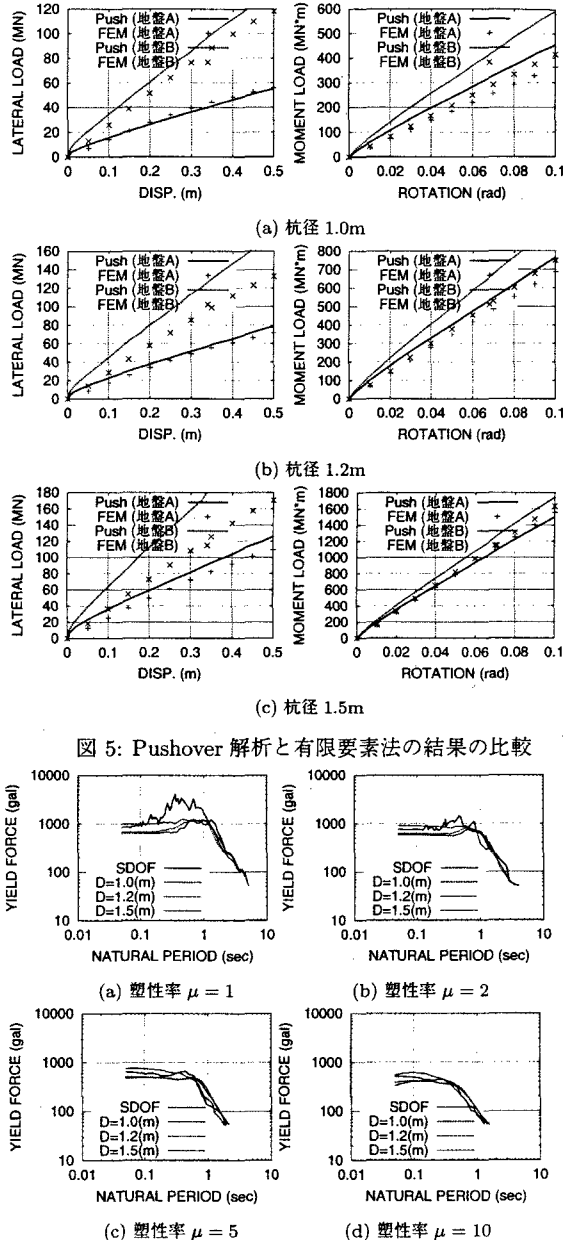


図 5: Pushover 解析と有限要素法の結果の比較

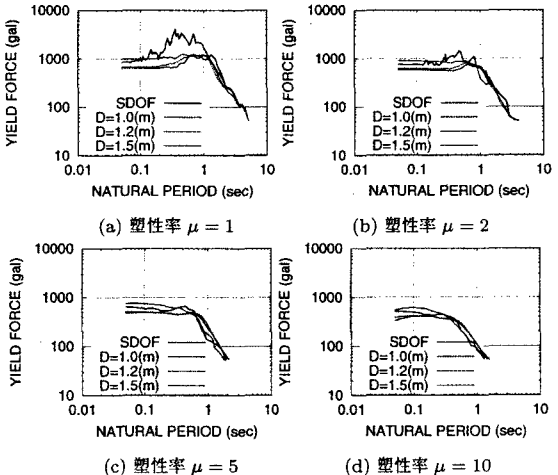


図 6: 必要強度スペクトル