

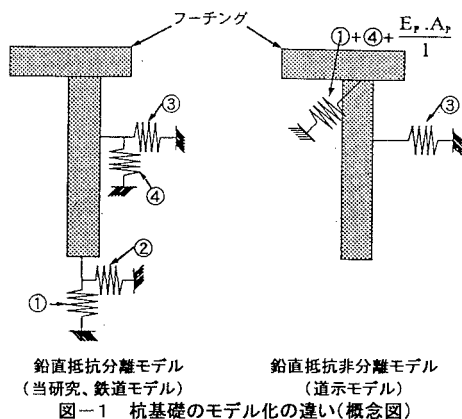
杭基礎の鉛直方向抵抗のモデル化が基礎の地震時挙動に及ぼす影響

(株)構造技術センター 福岡支社 正 員 ○岩上 憲一
九州大学大学院工学研究科 フェロー 大塚 久哲
九州大学大学院工学研究科 学生員 久納 淳司

1. まえがき 阪神淡路大震災を契機とし、大地震時に対する構造物の安全性が要求されるようになってきた。また、一方では世界的な情勢として従来の許容応力度法から限界状態設計法さらには性能設計へと設計法の変遷が著しくなっている。これに伴い、杭基礎においても弾性線形領域での設計から塑性あるいは非線形領域での設計が行われており、種々の設計法が提案されている。

基礎構造物の場合、上部構造と違うのは基礎の構造だけでなく地盤との相互関係を考慮せねばならないことから、耐震設計においても未だ不明な点が多い。そこで、当研究では、基礎の合理的な設計法を確立することを最終目標とし、その一環として杭基礎の主に鉛直方向の地盤のモデル化に着目し、モデル化の違いが杭の挙動におよぼす影響について検討した。

2. 検討モデルと検証 杭基礎の設計は現在、杭ラーメン法が主流であるが地盤バネのモデル化、特に鉛直方向のモデル化には大きく分けて2つのものがある。1つは、鉄道構造物等標準¹⁾(以下鉄道標準と呼称)などに示される杭の周面、先端地盤および杭体を分離評価するものであり、もう1つは道路橋示方書²⁾(以下道示と呼称)などに示される杭の周面、先端地盤および杭体を杭頭バネとして合成して評価するものである。当研究では、限界状態設計や巨大地震時の設計においては、地盤の影響を考慮する必要があると考え、この2つの評価法を比較し鉛直方向の地盤バネのモデル化が地震時の挙動にどの程度影響を与えるのかを探った。各バネ定数は、表-1に示すとおり地盤の塑性域を考慮し初期勾配と上限値を用いたバイリニア型とした。ここで、非分離モデルについては道示のモデルを準用し、分離モデルにおける周面の鉛直バネについては静的載荷試験から得られた杭と地盤の間に働くせん断係数^{3),4),5)}を用いた。また、分離モデルの妥当性は、鉄道総研で行われた実験結果^{6),7)}と照合することで



鉛直抵抗分離モデル
(当研究、鉄道モデル)

鉛直抵抗非分離モデル
(道示モデル)

図-1 杭基礎のモデル化の違い(概念図)

表-1 バネ定数の算出手法

	初期勾配		上限値
	分離モデル	非分離モデル	
①バネ 底面の鉛直 地盤抵抗	$K_{v1} = k_v \cdot A_{r2}$ $k_v = 1/30 \cdot \alpha \cdot E_0 \cdot (B_0/30)^{3/4}$ ($\alpha=8, E_0=7 \cdot N, B_0=D$)	$K_v = a \cdot (A_r \cdot E_r) / L$ $a = 0.031 \cdot (L/D)^{-0.15}$	$P_{Kv1} = q_0 \cdot A_r$ (地盤) または $R_{r0} = 0.85 \cdot \sigma'_a \cdot 10 \cdot A_c +$ $\sigma'_r \cdot 10 \cdot A_s$ (杭体)
④バネ 周面のせん 断地盤抵抗	$K_{v2} = C_s \cdot U \cdot L_r$ $C_s = N/15$		$P_{Kv2} = f \cdot U \cdot L_r$ $f = N$ (粘性土) $= 0.5 \cdot N$ (砂質土)
②バネ 底面のせん 断地盤抵抗	$K_{s1} = \lambda \cdot K_{v1}$ $\lambda = 0.3$	-----	$P_{Ks1} = (C_b + V \cdot \tan \phi_s) \cdot A_{r2}$ ($C_b=0, \phi_s=2/3 \cdot \phi$, $V=P_{Kv1}$)
③バネ 周面の水平 地盤抵抗	$K_{s2} = k_{s0} \cdot D \cdot L \cdot \Delta$ $k_{s0} = 1/30 \cdot \eta_k \cdot \alpha_k \cdot \alpha \cdot E_0 \cdot (B_0/30)^{3/4}$ ($\alpha=8, E_0=7 \cdot N, \eta_k, \alpha_k=1.0$)		$P_{Ks2} = P_0 \cdot D \cdot L \cdot \Delta$ $P_0 = \eta_r \cdot \alpha_r \cdot P_0$ 文献 2) 参照

3. 検討内容と結果 検討に用いた基礎形状は、荷重載荷方向に4列、奥行き方向に3列の場合所打ち杭基礎φ1200(図-3)を用い、周面・先端地盤および杭の根入れ長を変化させたパラメトリック解析を実施した。解析に用いた地盤の組み合わせおよび杭の根入れ長を表-2,3

に示す。なお、荷重載荷方法は震度を 0.01 刻み増加させる静的荷重漸増方式によった。

道示³⁾を参考に、橋梁全体の安定性が損なわれないような基礎天端の水平変位を 40cm を基礎の終局耐力時とした。その変位を与える水平震度を縦軸にとり、パラメトリック解析した結果の代表ケースを図-4 に示す。

非分離系の道示モデルは、杭の根入れや地盤条件にかかわらずば一定の震度で終局耐力をむかえており、分離系の当研究モデルでは、杭の根入れ長や地盤条件により最大 5 倍程度の開きがあることが分かる。また、杭の根入れ長や地盤条件の違いにより、分離モデルでは非分離モデルに比べ根入れが大きくなるにつれ、地盤が硬くなるにつれ、大きな震度まで耐えられる結果となっている。

4. あとがき 本論文では、鉛直方向地盤抵抗のモデル化の違いによる杭基礎の地震時の違いに主眼をおいて考察を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 当研究モデルと、文献 4)5) に示される鉄道モデルの間には、水平震度-変位の関係において、ほとんど差は生じなかった。

(2) 鉛直方向地盤抵抗の算定において、道示のような非分離モデルでは、周面地盤の N 値、先端地盤の変形係数 E。及び根入れ比 L/D の影響を表現することができないのに対し、杭周面摩擦、杭先端地盤の鉛直抵抗、杭体の鉛直抵抗の 3 つに分離して考慮すると、それぞれの影響を表現できる解析モデルになる。

(3) 鉛直方向の地盤抵抗の評価が杭基礎の水平方向の変位にも影響を与え、条件によっては震度で換算して数倍の差が生じる。

参考文献

- 1) 運輸省鉄道局：鉄道構造物等標準・同解説、基礎構造物－抗土圧構造物編、1997.4
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部工編、1996.12
- 3) 岡原、高木他：単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究、土木研究所資料第 2919 号、1991.1
- 4) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧、1992.10
- 5) 岡原他：杭の鉛直及び水平方向の支持特性に関する研究、構造工学論文集 Vol.37A、1991.3
- 6) 神田、奥村他：杭基礎振動実験結果およびその解析 (2)、第 30 回土質工学研究発表会、1995.7
- 7) 小坂、西村他：杭基礎振動台実験結果とその解析シミュレーション、第 31 回土質工学研究発表会、1996.7
- 8) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、1996.12

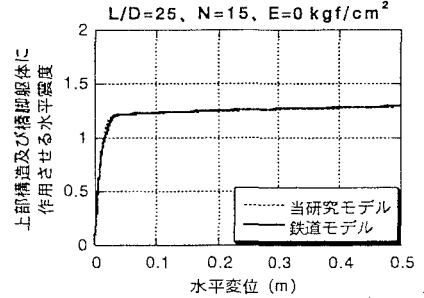


図-2 鉄道モデルとの比較結果

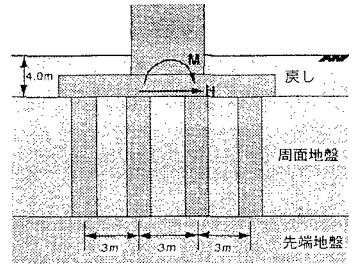


図-3 地盤と杭基礎のモデル

表-2 地盤の組み合わせ

		周 面 地 盤		
		軟弱粘土 (N=2)	砂質土 (N=15)	砂質土 (N=30)
先 端 地 盤	摩擦杭 $E_0 = 0 \text{ kgf/cm}^2$	非現実的	○	○
	支持杭 $E_0 = 300 \text{ kgf/cm}^2$	○	○	○
	支持杭 $E_0 = 2000 \text{ kgf/cm}^2$	○	○	○

表-3 検討杭長の種類

	case1	case2	case3	case4	case5
杭長 L (m) (L / D)	9.0 (7.5)	12.0 (10)	18.0 (15)	24.0 (20)	30.0 (25)

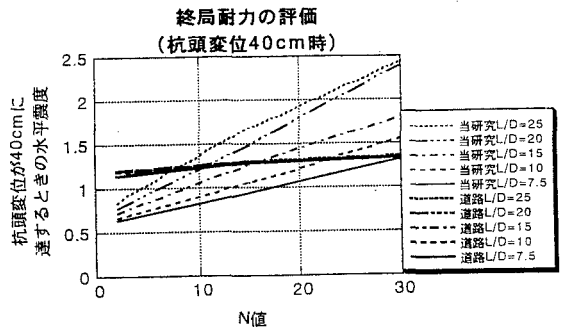


図-4 杭頭水平変位40cm時の両モデルに作用する水平震度の分布 (当研究モデルは先端の変形係数 $E=300\text{kgf/cm}^2$ 時)