

III-470

場所打ちコンクリート杭の急速載荷試験に関する解析的検討

竹中工務店技術研究所 正会員 ○山下 清 同 加倉井 正昭 椿原 康則
竹中土木 正会員 福原 拓平

1. はじめに

近年、反力杭や大がかりな載荷装置を用いずに実施できる杭の載荷試験法が、種々提案されている¹⁾。このうち、急速載荷試験と呼ばれるもの²⁾は、ハンマーで杭頭を打撃する動的載荷試験に比べて数倍の載荷時間が確保でき、杭体に引張り力が発生しないのでコンクリート杭にも適用できる。急速載荷試験は静的載荷試験に近いものであるが、本質的には動的な載荷試験であり、載荷速度に依存する抵抗力が発生する。しかしその値は比較的小さく、適正な補正を行うことにより、設計荷重レベルにおける杭の静的挙動をよく表すとの報告もある^{3), 4)}。

本文は、急速載荷時に杭・地盤系に生じる動的現象を解析的に調べるため、場所打ち杭の急速載荷試験結果について、三次元FEMによりシミュレートを試みたものである。

2. 急速載荷試験の概要

図-1に試験杭と地盤調査結果を示す。試験杭は長さ18.2m、杭径は上半部で1.2m、杭頭と下半部で1.0mで、アースドリル工法により施工し、杭先端は密な砂層に設置した。地表面から13.5mまでは杭の周囲に小径のボーリングを施し、摩擦抵抗の低減を図った。杭頭部（A断面）と杭先端部（D断面）には、動的軸力測定用のひずみ計を設置した。急速載荷試験は Static法²⁾により行った。載荷時間は120msで杭頭における最大荷重は6.28MN、最大変位は、4.9mmであった。試験の詳細については文献⁵⁾を参照されたい。

3. 解析方法

急速載荷試験より得られた杭の挙動を数値解析的にシミュレートすることを試みた。解析には、陽解法による三次元有限要素解析プログラムDYNA3Dを用いた。図-2に杭と地盤の要素分割を示す。8節点6面体要素を用い、軸対称条件を考慮して全体の1/12をモデル化した。杭の動的載荷時の挙動を解析する際の要素の大きさに関し、Deeks⁶⁾は、解の精度を確保するためには、土中の波動伝播速度と、杭頭荷重の載荷速度を考慮して設定すべきことを指摘している。動的載荷と比べて急速載荷では荷重の載荷速度はかなり小さいが、ここでは Deeksの提案に基づいて要素の大きさを定めた。要素全体の下方および半径方向の境界には、土中の伝播波の反射を避けるため、無

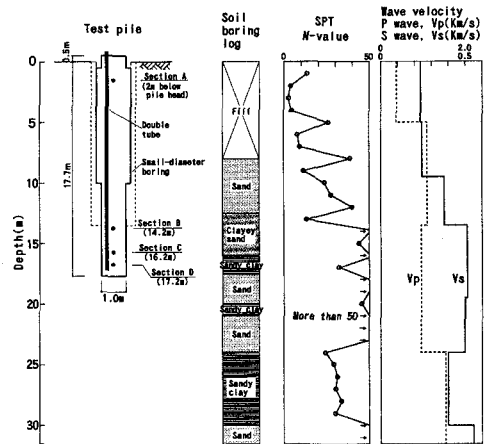
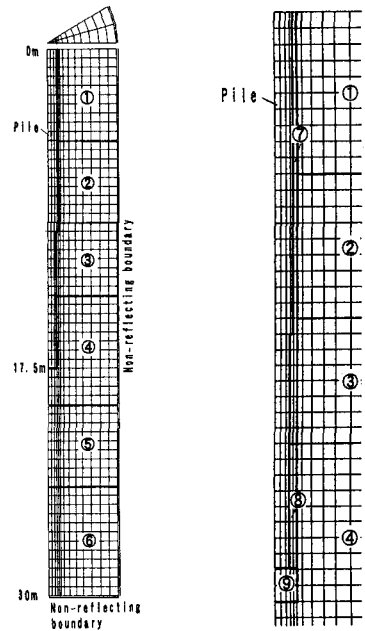


図-1 試験杭と地盤条件



(a) 全体モデル (b) 杭周辺地盤の要素分割

			Density ρ (g/cm ³)	Young's modulus E (MPa)	Poisson's ratio ν	Yield stress σ_y (kPa)	Plastic modulus Et (MPa)
Pile concrete			2.4	2.45×10^4	0.167	—	—
Soil	Case 1	Layer ①	1.8	235	0.25	—	—
		②	1.8	305	0.45	—	—
		③	1.9	782	0.45	—	—
		④	2.0	1362	0.30	—	—
		⑤	2.0	1323	0.30	—	—
		⑥	1.9	890	0.45	—	—
	Case 2	Layer to ⑥	Case 1と同一				
		Zone ⑦	1.8	39	0.25	32.3	1.0×10^{-4}
		⑧	2.0	1362	0.30	951	1.0×10^{-4}
		⑨	2.0	136	0.30	—	—

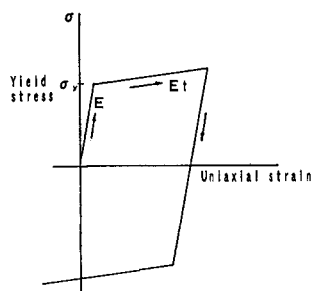


図-3 土の弾塑性モデル

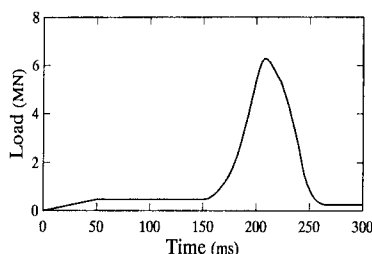
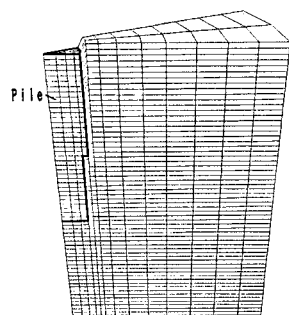


図-4 荷重-時間 の入力値

図-5 杭・地盤系の変形モード
(ケース2)

反射境界を設けた。表-1に入力定数の一覧を示す。杭体コンクリートは弾性体と仮定した。ケース1は弾性解析であり、地盤の弾性係数とポアソン比は、PS検層（図-1）より得られる微小ひずみレベルの値を用いた。ケース2では、摩擦抵抗の低減などを考慮するために、杭近傍の地盤、即ち図-2におけるゾーン⑦と⑧について、図-3に示す弾塑性モデルを用い、ゾーン⑦では弾性係数を微小ひずみ時の1/10に低減した。摩擦力の降伏値は、急速載荷試験の後に実施した静的載荷試験の結果を参照して設定した。さらに、杭施工時の掘削による応力解放と載荷に伴う先端地盤の剛性低下を考慮して、ゾーン⑨の弾性係数を1/10に低減した。それ以外の部分についてはケース1と同一の弾性体と仮定した。図-4に杭頭荷重-時間の入力値を示す。急速載荷時の荷重は実測値を用い、杭頭を構成する7個の要素に等分布荷重として載荷した。

4. 解析結果

図-5に、ケース2の杭頭変位最大時における杭・地盤系の変形モードを示す。杭上半部に接する土要素にせん断変形が集中しており、ゾーン⑦のうち杭に接する土要素は全て塑性化している。図-6に、杭頭における鉛直変位-時間の計算値と実測値を示す。変位の計算値は時間軸に対して、実測値と同様な挙動を示している。ケース2では地盤の塑性化により残留変位が若干みとめられる。図-7に、杭頭における荷重-鉛直変位関係を示す。ケース1では地盤の弾性係数に、杭施工前の微小ひずみレベルに相当する値を用いているため、最大変位は実測値に比して小さい。しかし、荷重-変位は実測と同様なループ状を呈し、杭体の慣性力および杭周辺地盤への波動伝播にともなう逸散減衰による動的な挙動を表している。一方、地盤の剛性低下と非線形性を考慮したケース2では実測曲線と比較的良好な対応を示す。図-8に、杭先端部(D断面)における荷重-鉛直変位関係を示す。ケース1では、杭上半部の摩擦力の低減を考慮していないため、杭先端への伝達荷重は実測値よりかなり小さい。ケース2では変位の計算値は実測値に比してやや小さいが、杭先端への伝達荷重は実測値に近く、曲線の形状も類似している。

5. おわりに

場所打ちコンクリート杭の急速載荷試験結果について、地盤を弾性体もしくは弾塑性体とした三次元FEMによりシミュレートを試みた。その結果、弾性モデルにおいて荷重-変位がループ状となる動的な挙動を表現でき、弾塑性モデルでは実測値と比較的良好な対応が得られた。

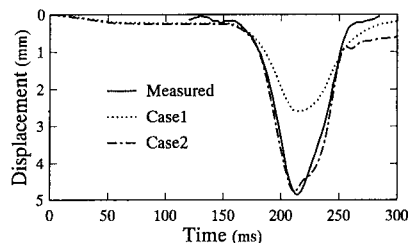


図-6 杭頭の鉛直変位-時間

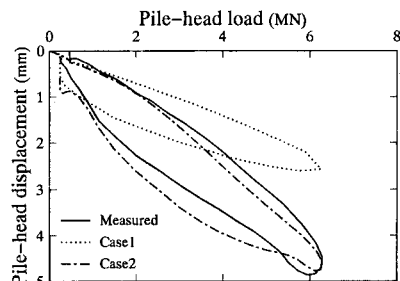


図-7 杭頭の荷重-鉛直変位

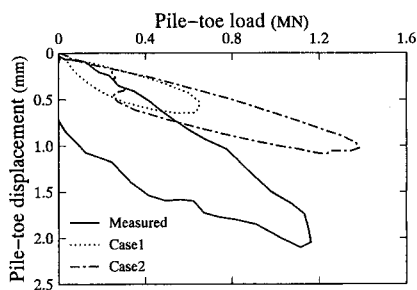


図-8 杭先端部の荷重-鉛直変位

[参考文献]

- 1) 加倉井正昭, 山下清(1994): 杭の性能評価技術の最近の動向, 建築技術, No.526.
- 2) Bermingham, P. & Janes, M. (1989): An innovative approach to load testing of high capacity piles, Proc. Int. Conf. Piling and Deep Foundations.
- 3) Middendorp, P. (1993): First experiences with Statnamic load testing of foundation piles in Europe, Proc. 2nd Int. Geot. Sem. on Deep Foundation on Bored and Auger Piles.
- 4) 松本樹典, 統誠, 西村真二(1994): スタナミック試験データを利用した杭の静的荷重-沈下曲線の一計算法, 第29回土質工学研究発表会.
- 5) 豊島憲一, 山下清, 加倉井正昭, 榎原康則, 福原拓平(1994): 場所打ちコンクリート杭の急速載荷試験 (その1. 試験結果), 日本建築学会大会.
- 6) Deeks, A. J. (1992): Numerical analysis of pile driving, Thesis, University of Western Australia.