

Ⅲ-464

杭の急速水平載荷試験に関する解析的検討

(株)竹中工務店 技術研究所 正会員 ○椿原 康則

" 正会員 山下 清

" 正会員 加倉井 正昭

1. はじめに

静的載荷試験と比べて簡便に行える杭の急速載荷試験（スタナミック試験）¹⁾が、近年注目されている。既往の急速載荷試験の実施例は鉛直載荷が殆どであるが、水平方向の載荷も可能であり、今後杭の水平抵抗性能を求めるための水平載荷も行われるものと予想される。本報告では、この急速水平載荷試験に関して急速載荷時に杭―地盤系に生じる動的挙動を解析的に調べるため、実試験での荷重～変位関係等の杭の挙動を3次元弾塑性有限要素法により地盤の物性値を変えてシミュレートした結果を示した。

2. 杭および地盤の概要

本解析で対象とした水平載荷試験は、North Carolina州（米国）で行われた一連の杭の急速載荷試験²⁾の一部である。図-1に、試験杭および地盤を示す。試験杭は、補強のために鋼管を巻いた場所打ちコンクリート杭であり、杭径60cm、長さが12mでそのうち1mが地盤から突出している。水平荷重はこの突出部に載荷する。地盤は、GL-7mまでがゆるい砂層で、それ以下は固結した砂質土層である。また、地下水位はGL-1mである。

3. 解析方法

シミュレーション解析は、筆者らが杭の鉛直方向の急速載荷試験の解析³⁾で使用した3次元有限要素解析プログラムDYNA3Dにより行った。図-2に、杭―地盤系の有限要素モデルを示す。8節点6面体要素を用い、載荷方向の左右で対称なことを考慮して全体の1/2をモデル化した。全節点数は3,598、全要素数は2,808であり、杭の断面は24要素により構成されている。地盤は図-1の上質およびN値の深度方向の変化を考慮して①～⑦の7つの層に分割した。また、半径方向の境界までの距離は杭径の20倍とした。モデル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、無反射境界を設けた。地盤には、ミーゼスの降伏条件を満たす弾完全塑性モデルを採用した。

表-1 杭と地盤の入力定数

部 材	定 数	平均N値	せん断剛性率 (kgf/cm ²)	せん断強度 (tf/m ²)	ポアソン比 ν	密度 (g/cm ³)
杭 (鋼管コンクリート)	—	—	ヤング率 $E = 2.6 \times 10^6$	—	0.167	2.4
地 盤	ケース1 (弾性)	層① ～⑦	$G_1 = G_2$	$\tau_{y1} > 1$	(他は、ケース2と同じ)	
		層①	G_2 :	τ_{y2} :		
		②	435	3.0	0.3	1.8
		③	503	3.6	0.3	1.8
		④	435	3.0	0.3	1.8
		⑤	36.5	213.3	0.3	1.8
		⑥	78	391.6	0.3	1.8
整	ケース2	⑦	32	192.0	0.3	1.8
	⑦	60.5	319.6	36.3	0.3	1.8
地 盤	ケース3	層① ～⑦	$G_3 = G_2/10$	$\tau_{y3} = \tau_{y2}$	(他は、ケース2と同じ)	
	ケース4	層① ～⑦	$G_4 = G_2/10$	$\tau_{y4} = 2\tau_{y2}$	(他は、ケース2と同じ)	

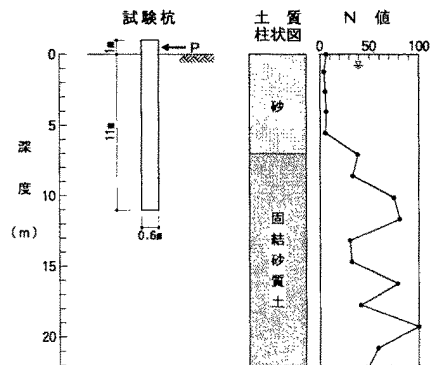
注) $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ (σ_y : ミーゼスの降伏条件下での一軸圧縮の降伏応力)

図-1 試験杭と地盤条件

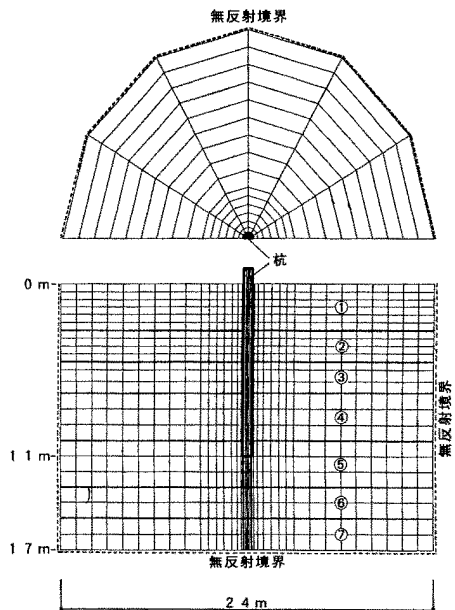


図-2 杭―地盤系の要素分割

表-1に、解析で使用した杭および地盤の入力定数を示す。杭は弾性体と仮定し、ヤング率の値は鋼管を巻いていることを考慮してコンクリート自体の値より若干大きくしている。地盤に関しては、せん断剛性率 G およびせん断強度 τ_y をパラメータとして4つのケースを考えた。ケース1は弾性解析（ $\tau_y \gg 1$ ）で、各層の G の値は微小ひずみ時の値とし、 $G = 120 \cdot N^{0.80} \text{ kgf/cm}^2$ （ N ：各層の平均 N 値）⁴⁾により求めた。ケース2、3および4は弾塑性解析で、ケース2はケース1で τ_y を $\tau_y = 0.6 \cdot N \text{ tf/m}^2$ で求めた値を用いており、ケース3は更に G の値を1/10倍したものをを用いている。ケース4は、ケース3で τ_y を2倍にしたものである。図-3(a)に、杭頭での載荷荷重の時刻歴（入力値）を示す。載荷時間は84msであり、 $t = 52\text{ms}$ で荷重が最大となる。杭の突出部（ $GL+0\text{m} \sim GL+1\text{m}$ で、杭要素は2層）の中で、側面の法線方向が載荷方向に最も近く上下重なり合った2個の杭要素に等分布荷重として載荷した。

4. 解析結果

図-3(b)に、杭頭（ $GL+0.5\text{m}$ ）における水平変位量の時刻歴を示す。最大変位量の発生時間は、ケース1の弾性解析では最大荷重時に一致しているが、実測値およびケース2～4の弾塑性解析では最大荷重時以降となっている。また、図-4は、ケース4で $t = 84\text{ms}$ 以降を載荷荷重 = 0とした時の変位量の収束状況を示しているが、荷重が0に戻った後も多少変位量が減少し、ある周期で振動しながら収束しているのが分かる。

図-5に、ケース4で杭頭変位量が最大の時刻における杭-地盤系の変形モードを示す。なお、変形は10倍に拡大している。図より、杭の変形は上半部で大きい、地盤の変形は杭の近傍に限られていることが分かる。

図-6に、杭頭での荷重～変位関係を示す。ケース1では載荷と除荷の曲線がほぼ一致している。ケース4は、ケース2で G を1/10倍、 τ_y を2倍したものだが、最大変位量は変化せず初期勾配のみ減少している。更にケース3は、ケース4に対して τ_y が1/2倍であるが、初期勾配は一致しており最大変位量のみ大きい。なお、解析結果の中でケース4が最も実測値に近い。

5. おわりに

今回の弾塑性解析により、地盤の弾性定数および降伏応力をパラメータとして変化させることによって、杭の急速水平載荷試験における杭頭での荷重～変位の実測曲線を、精度良くシミュレートできる可能性が見い出された。

【参考文献】

- 1) Bermingham, P. & Janes, M. (1989): "An innovative approach to load testing of high capacity piles," Proc. of Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, pp. 409-413.
- 2) Bermingham Corp. Ltd. (1994), STATNOMIC NEWSLETTER, Vol. 2, No. 2.
- 3) 山下清・加倉井正昭・椿原康則・福原拓平(1994): 「場所打ちコンクリート杭の急速載荷試験に関する解析的検討」、土木学会第49回年次学術講演会、第Ⅲ部門、pp. 930-931.
- 4) Ohsaki, Y. & Iwasaki, R. (1973): "On dynamic shear moduli and Poisson's ratios of soil deposits," Soils and Foundations, Vol. 13, No. 4, pp. 61-73.

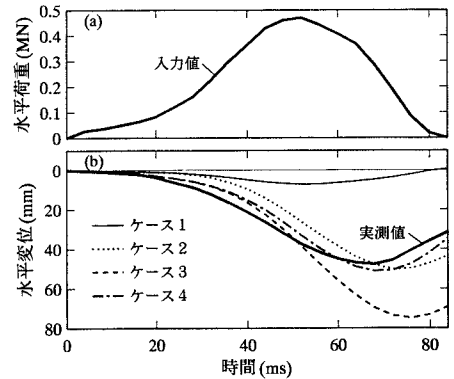


図-3 載荷荷重および杭頭（ $GL+0.5\text{m}$ ）での変位量の時刻歴

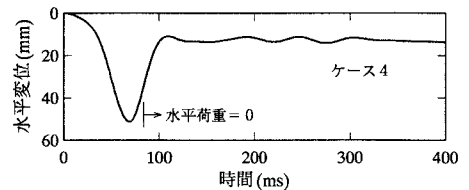


図-4 載荷終了後の杭頭（ $GL+0.5\text{m}$ ）での変位量の収束状況（ケース4）

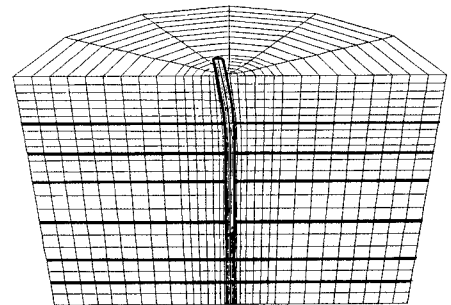


図-5 杭-地盤系の変形状況（ケース4，最大変形時）

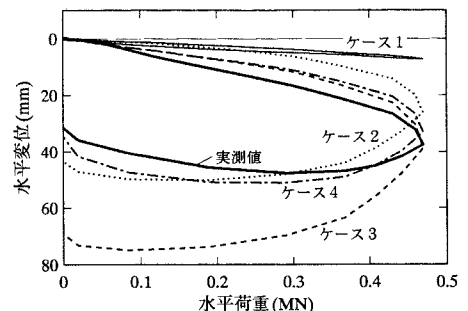


図-6 杭頭（ $GL+0.5\text{m}$ ）での荷重～変位関係