

地盤連成動的解析による合成構造フーチングの検証

(株) 大林組 正会員○天野 寿宣 正会員 齋藤 隆
首都高速道路(株) 正会員 松崎 久倫

1. はじめに

首都高速中央環状線の板橋・熊野町ジャンクション間を拡幅する改良工事において、初めて採用された技術である合成構造フーチング(図-1)に対して、これまで様々な耐荷性能の検証を行ってきた^{1)~3)}。

本稿では、構造物・地盤連成系で静的解析を行ったFEMモデルを改良し、非線形の時刻歴動的解析を実施して合成構造フーチングの性能を検証した結果について報告する。

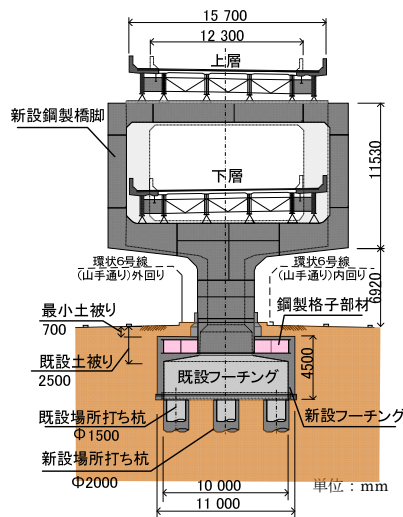


図-1 構造概要

表-1 地盤条件

地層名		記号	層厚(m)	平均N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	せん断強度 S_u (N/mm ²)
盛土層		B	5.44	3	13	28.321	0.047
沖積粘性土層		Ac	2.23	2	13	20.475	0.034
ローム層		LM	1.94	1	15	11.760	0.020
東京層	第1砂質土層	To-s1	3.58	25	19	154.440	0.140
	第2砂質土層	To-s2	8.83	39	19	220.424	0.200
	粘性土層	To-c	10.39	12	16	85.852	0.143
	第3砂質土層	To-s3	1.87	32	19	188.160	0.171
	砂礫土層	To-g	1.23	47	19	255.909	0.233
	第4砂質土層	To-s4	5.57	45	20	247.160	0.225
江戸川層	粘性土層	Ed-c		40	20		

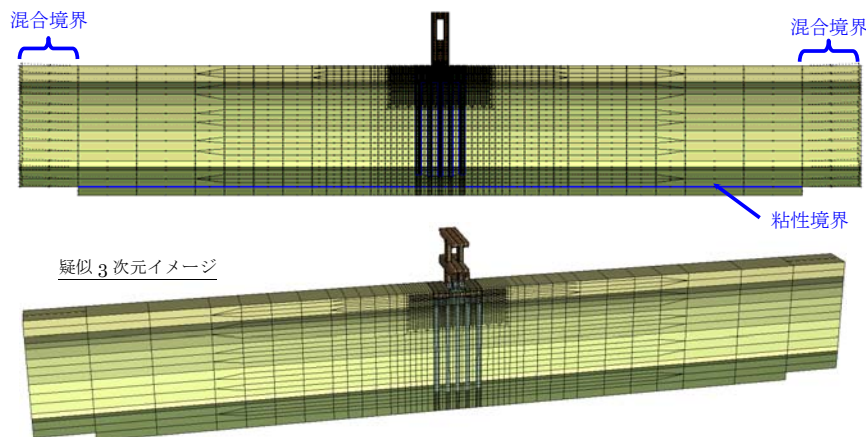


図-2 WCOMDによる構造物-地盤連成動的解析モデル

2. 検討条件

構造物および地盤の要素分割、各部位の材料構成側および材料特性値の設定は、静的解析と同様の考え方によりモデル化を行った。表-1~3に地盤条件などの解析条件を、図-2に解析モデルを示す。動的解析用モデルの特徴として、ダブルラケット型の橋脚も質量バランスに応じてモデル化し、上層桁と下層桁の各々の上部工慣性力が作用するようにしている。

なお、施工ステップを考慮した初期応力状態を再現するために、事前に上部工の振動単位であるP21~P24の3径間4橋脚の3次元骨組みモデルによって対象橋脚の上部工分担荷重を算出している。

境界条件については、側面を混合境界、底面を粘性境界としている。側面の混合境界では、地盤幅を1/2ずつに分離して、片側の端部節点を鉛直方向に固定、もう一方の端部節点を水平方向に固定している。水平方向自由端では波動が同位相で反射され、固定側では逆位相で反射されることから、両者を足し合わせることで実現象通りとなるよう反射波を消去している。

3. 検討結果

解析の結果を表-4, 5, 図3~7に示す。入力3波の最大応答変位(表-3)は、杭頭で30cm前後、上層で40~50cmの最大応答変位を示している。変形モードは、図-6の変形図を見る限り、杭頭部の曲げが大きくな

表-2 解析条件(概要)

解析コード	WCOMD
モデル化範囲(高さ)	支持層まで
モデル化範囲(幅)	高さの5倍
モデル化範囲(奥行)	フーチング幅
メッシュ分割	500mm以下を目安
埋込鉄筋RC要素	非線形(C=0.4:鉄筋バイリニア)
地盤要素	非線形
鋼材要素(フーチング)	非線形(バイリニア)
鋼材要素(橋脚)	線形
ジョイント要素	RCフーチング・杭-地盤間
境界条件(側面)	混合境界
境界条件(底面)	粘性境界
初期荷重	上部工分担荷重(上層・下層)
入力地震波(工学的基盤面に入力)	道路橋示方書・同解説V耐震設計編に示されるI種地盤用レベル2地震動(タイプII)×3波

キーワード 合成構造フーチング, 地盤連成解析, 非線形時刻歴動的解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟 (株)大林組土木本部橋梁技術部 TEL03-5769-1306

表-3 入力地震波一覧

地震名	記録場所および成分	呼び名
平成7年兵庫県南部地震	神戸海洋気象台地盤上NS成分	Ⅱ-I-1
	神戸海洋気象台地盤上EW成分	Ⅱ-I-2
	猪名川架橋予定地点周辺地盤上NS成分	Ⅱ-I-3

表-4 入力3波の最大応答変位の比較

地震波	項目	上層桁慣性力作用位置	下層桁慣性力作用位置	橋脚基部	杭頭
Ⅱ-I-1	最大変位(mm)	-547	-473	-414	-391
	最大変位時刻(秒)	7.26	7.26	7.25	7.24
Ⅱ-I-2	最大変位(mm)	-384	-329	-289	-275
	最大変位時刻(秒)	9.68	9.68	9.67	9.66
Ⅱ-I-3	最大変位(mm)	-436	-379	-340	-328
	最大変位時刻(秒)	9.91	9.90	9.89	9.88

表-5 各損傷の発生時刻

地震波		損傷発生時刻(秒)		
		Ⅱ-I-1	Ⅱ-I-2	Ⅱ-I-3
フーチング	①初ひび割れ	5.11	5.61	8.24
	②拘束筋初降伏	損傷なし	損傷なし	損傷なし
	③上側鉄筋初降伏	損傷なし	損傷なし	損傷なし
	④鋼製拡幅部材初降伏	損傷なし	損傷なし	損傷なし
	⑫下側鉄筋初降伏	10.87	9.20	損傷なし
橋脚	⑤鋼製橋脚初降伏	損傷なし	損傷なし	損傷なし
既設杭	⑥初ひび割れ	0.80	1.35	1.27
	⑧主筋初降伏	1.33	4.03	6.66
	⑩せん断筋初降伏	5.05	5.52	8.19
	⑨主筋初降伏	2.80	4.90	7.64
新設杭	⑦初ひび割れ	0.75	1.31	1.22
	⑪せん断筋初降伏	3.23	4.92	7.67

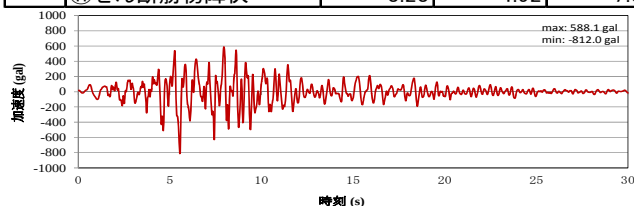


図-3 神戸海洋気象台地盤上 NS 成分 (Ⅱ-I-1)

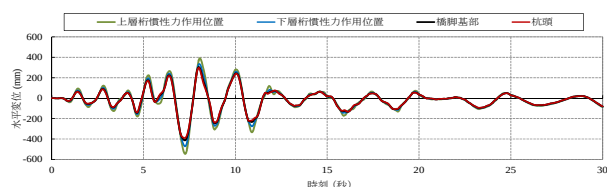


図-4 応答変位履歴 (Ⅱ-I-1)

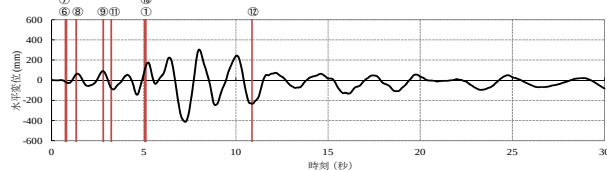


図-5 各損傷の発生時刻 (Ⅱ-I-1)

るようなフーチング部の水平移動(スウェイ)挙動が支配的であると考えられる。

応答変位が最大となるⅡ-I-1 入力地震波形(図-3)と、それに対応する応答変位履歴(図-4)を比較すると、入力加速度の最大時刻から2秒程度遅れて応答変位が最大となっている。さらに図-5の損傷発生時刻と比べると、応答加速度の最大時刻よりかなり前の段階から杭の損傷が進んでいることがわかる。

表-5に示す損傷発生状況から見ても、L2動的解析の応答の特徴は、地震の初期から杭の損傷が進み、橋

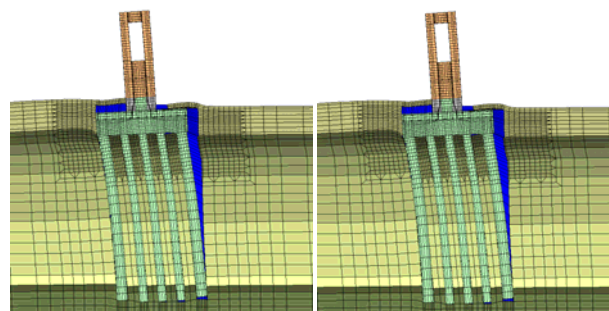


図-6 変形図 (Ⅱ-I-1: 縮尺 10 倍)

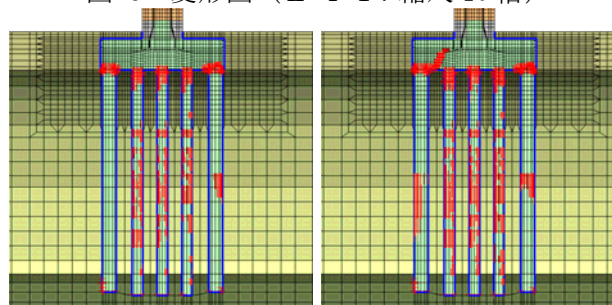


図-7 鉄筋降伏図 (Ⅱ-I-1)

脚の応答変位は徐々に大きくなるが、フーチングのコンクリートおよび鋼製拡幅部などの内部損傷は殆ど進まないという点である(フーチングの下側鉄筋降伏は既設フーチング側面鉄筋を示しているため構造的な影響はない)。これは、合成構造フーチングが杭や地盤と比較して剛性が高い部位であることと、L2地震時の大きな地盤変位の際にも要求性能を満たす耐荷性・一体性を有していることを示している。

4. まとめ

地盤連成系の動的解析により合成構造フーチングは十分なL2地震耐荷性能を有していることが確認できた。しかし一方で、杭の損傷は降伏を許容する設計通りに初期から進行しており、地盤の非線形性の妥当性や元々もの設計法などをさらに検証する必要がある。今後は、載荷実験、実験事前解析、連成系静的プッシュオーバー解析の結果も参考にして、適切かつ合理的となる合成構造フーチングの設計手法を確立するとともに、さらに橋梁全体を合理的に設計するための検討を進めていくことが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 仲田宇史: 板橋・熊野町ジャンクション間改良における合成構造フーチングの設計, 第69回土木学会年次講演会, PP79-80, 2014. 9,
- 2) 天野寿宣: 板橋・熊野町ジャンクション間改良における合成構造フーチングの橋軸方向載荷実験, 第69回土木学会年次講演会, PP81-82, 2014. 9,
- 3) 伊原茂: 板橋・熊野町ジャンクション間改良における合成構造フーチングの橋軸直角方向載荷実験, 第69回土木学会年次講演会, PP83-84, 2014. 9