

橋台に作用する地震時動土圧に及ぼす基礎形式の影響

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 稲荷 優太郎

(株)大林組 ○正会員 樋口 俊一

1. はじめに

橋台の地震時土圧評価には、橋台裏込土の非線形性を考慮した評価法¹⁾が用いられる。筆者らは橋台・基礎および地盤を含めた全体系としての耐震性評価を目的として、遠心模型実験とその数値シミュレーションにより地震時土圧の特徴を把握した^{2),3)}。本研究では、橋台基礎を直接基礎および杭基礎とした地震時土圧シミュレーションを実施し、基礎形式の違いによる地震時土圧作用の特徴を分析した。

2. 解析方法の概要

本検討では図-1 に示す高さ 20m の逆 T 型橋台をプロトタイプとし、2 種類の基礎を設計して表-1 のように諸元を設定した。図-2 に示す解析モデルは、過年度の遠心実験シミュレーション³⁾で橋台の地震時土圧の実験結果との整合性を確認した 2 次元平面ひずみモデルを基本としている。モデル化の特徴を以下に示す。

- ・裏込土(表-2:砂質土)には GHE モデルを用い、せん断剛性 G_0 およびせん断強度 τ_f に拘束圧依存性 ($G_0 = G_{0m} * (\sigma_c / \sigma_{cm})^{0.5}$)、 $\tau_f = \sigma_c \tan(\phi_{peak})$ を考慮した。 ϕ_{peak} は道路橋示方書 V・耐震設計編(2012)¹⁾に従った。
- ・基礎の変形特性は SR ばねでモデル化した。表-3 に試設計結果から算定した基礎ばねの設定値を示す。
- ・解析モデル右側境界は半無限地盤(裏込土が遠方まで存在すると仮定)とした。

解析は①初期応力解析、②動的解析、の 2 ステップで実施した。ここで初期応力解析では橋台に作用する水平土圧の合力が、道示・地震時主働土圧係数式(式 6.2.5, 以下評価式; 背面 土-土: $K_{EA} = 0.26 + 0.97k_h$)¹⁾の $k_h=0$ での土圧係数 $K=0.26$ による水平土圧合力に近づくように、裏込土のポアソン比を調整した。図-3 に橋台背面の初期土圧分布と、 $k_h=0$ での土圧分布とを比較して示す。また、比較のため基礎固定モデルも検討した。

入力地震波は正弦波とし、橋台-基礎-裏込土全体系の固有値解析結果(2.7Hz 程度)と裏込土の非線形応答を考慮して振動数 0.5Hz を設定した。最大加速度振幅は 2m/s^2 および 6m/s^2 とした。

3. 地震時土圧分布の特徴と地震時主働土圧係数

代表的な解析結果の例として、図-4 に直接基礎での地盤震度および橋台に作用する地震時土圧合力の時刻歴を示す。ここで地震時土圧合力は、橋台背面水平土圧の鉛直方向の積分値で、フーチング底面せん断力に相当する²⁾。地盤震度は橋台裏込土の応答加速度の平均値を重力加速度 (9.8m/s^2) で除したものである。地盤震度と橋台への作用土圧の関係は、震度(+)の時刻に作用土圧が圧縮(-)となる。そこで、震度最大と適合する図中赤矢印の時刻(時刻 20.6s)に着目して抽出した、橋台に作用する地震時土圧の深度分布(青プロット)を図-5(a)に示す。図中の赤プロットは道示・評価式に抽出した地盤震度 k_h を適用した地震時土圧分布(三角形分布)であるが、解析結果では樽状の分布を示している。一方、同様の分析より杭基礎での土圧分布は図-5(b)のように矩形状を示すことがわかった。図-6 に、同様の方法で解析、データ整理した 6 ケース(3 モデル・2 入力振幅)の地震時土圧係数 K_{EA} と震度 k_h の関係を示す。ここで地震時土圧係数 K_{EA} は地震時土圧合力を基準土圧合力 ($=1/2 \gamma h^2$: $\gamma=19.6\text{kN/m}^3$, $h=20\text{m}$) で除し、さらに壁面摩擦角 δ_E を考慮して $\cos \delta_E$ ($\delta_E=1/2 \phi_{peak}$) で除して算定した。また、震度 k_h は上述の地盤震度とした。基礎固定条件では道示・評価式をやや上回り、 $k_h=0.6$ 以上では杭・直接基礎の解析値が評価式を少し下回るが、評価式との整合性は良い。

4. 橋台の地震時安定性に及ぼす土圧分布の影響

表-4 に本検討結果から抽出した橋台の地震時土圧の合力と、橋台フーチング底面を回転中心とした回転モーメントについて、道示・評価式に対する影響度を整理した。表中の P , M はそれぞれ道示・評価式の評価値

キーワード 動土圧, 橋台, FEM シミュレーション

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL. 042-495-1090

に対する比である。震度が大きいケースでは土圧分布形状を反映した回転モーメントの評価値 M が相対的に高く 1 を超えており、橋台の地震時安定性評価の観点からより詳細な分析や検証が必要と考えられる。

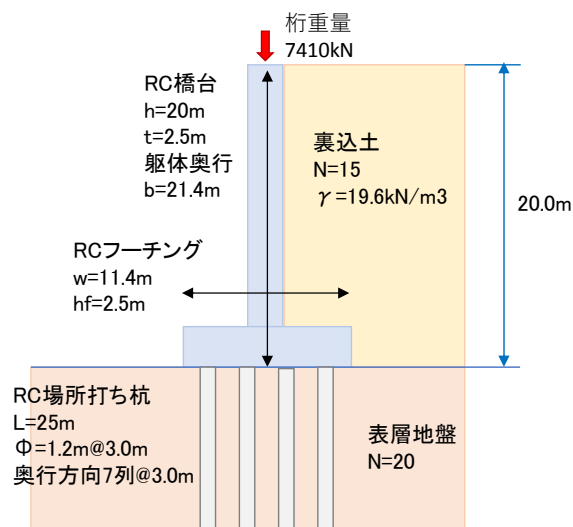


図-1 プロトタイプ橋台の概要（杭基礎の例）

表-1 基礎モデルの諸元

モデル	基礎幅	フーチング厚	基礎地盤（種別）
直接基礎	15.0m	2.5m	軟岩（Ⅰ種）
杭基礎	11.4m	2.5m	N=20（Ⅱ種）

表-2 裏込土の土質定数

地盤	N 値 (V_s : m/s)	強度定数
砂質土	15 (200)	$\phi_{peak}=45^\circ$

表-3 基礎ばね定数一覧（奥行 1m あたり）

基礎	直接基礎	杭基礎
水平ばね (kN/m/m)	$3.10 \times 10^5 (*)$	6.05×10^5
回転ばね (kNm/rad/m)	1.75×10^8	1.06×10^7

*直接基礎の水平ばねは $\delta_y=0.001$ m, 2次剛性 1/100 のバイリニア型

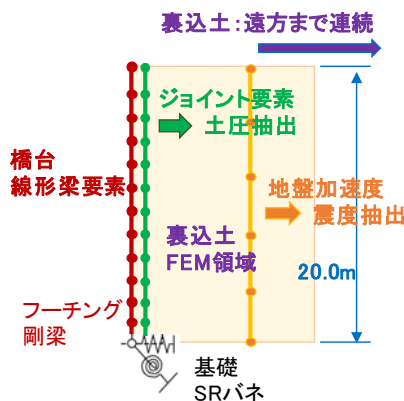


図-2 解析モデル概要

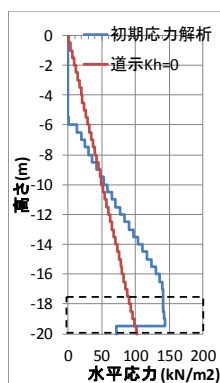


図-3 橋台背面土圧分布（初期応力解析）

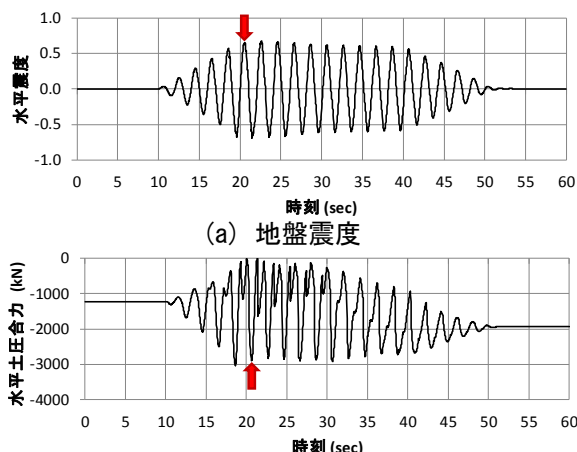


図-4 地盤震度および地震時土圧合力の時刻歴（直接基礎；6m/s² 入力）

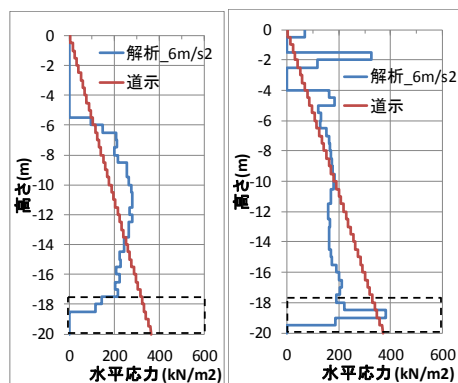


図-5 橋台に作用する地震時土圧の深度分布

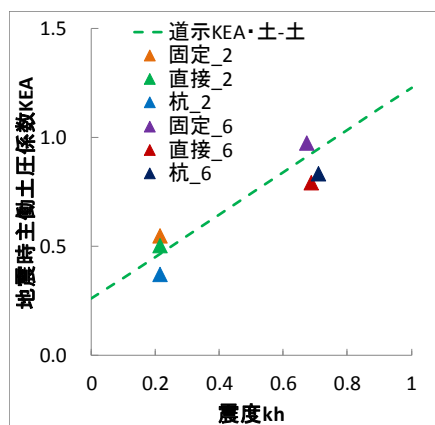


図-6 地震時主働土圧係数 K_{EA} と震度 k_h の関係

表-4 土圧分布形状の影響分析

基礎	k_h	P	M	P/M
固定	0.21	1.18	0.91	0.77
直接	0.21	1.08	0.87	0.81
杭	0.21	0.74	0.63	0.85
固定	0.67	1.07	1.16	1.08
直接	0.69	0.86	0.96	1.12
杭	0.71	0.88	1.05	1.19

参考文献.

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，2012。
- 2) 高原，加藤，樋口：弾性壁に作用する動土圧に関する遠心模型実験（その 1：遠心模型実験），Ⅰ-492，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017。
- 3) 樋口，高原，広瀬，加藤：弾性壁に作用する動土圧に関する遠心模型実験（その 2：数値シミュレーション），Ⅰ-493，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017。