

2016 年熊本地震を用いた函渠耐震解析モデルの検討

株式会社ニュージェック 正会員 ○石村 勝伸
株式会社ニュージェック 原田 秀敏
株式会社ニュージェック 正会員 松山 彰宏

1. 目的

一般的に地下構造物の横断方向の耐震設計法は、動的二次元 FEM 解析法や応答震度法等が地盤条件や構造条件等に応じて適宜採用されている。しかし、地層構成が変化する場合や掘削状況を考慮する必要がある場合、応答震度法は地盤のモデル化により差異が生じることがある。本論文は、応答震度法を用いる場合の地層のモデル化について、2016 年熊本地震の再現解析を実施し、その解析結果を踏まえて評価・考察するものである。なお、精度検証に用いた動的二次元 FEM 解析法には FLIP¹⁾ (Finite element analysis of Liquefaction Program) を用いた。

2. 検討条件

1) 検討対象函渠

解析対象とした函渠を図-1 に示す。解析対象とした函渠は、1 連 1 層 (幅 9.6m×高さ 6.5m) の現場打ち鉄筋コンクリート造である。躯体構築時はオープン掘削により行っており、躯体側壁部ならびに頂版部の周辺は埋戻し土となっている。なお、舗装を含めた土被りは 4.3m である。

2) 検討手法

検討ケースを表-1 に示す。ケース 1~3 では静的二次元 FEM 解析法 (応答震度法) による耐震解析を、ケース 4 では動的二次元 FEM 解析法 (解析コード: FLIP) による耐震解析を実施した。また、応答震度法に使用する応答加速度は一次元地盤応答解析 (解析プログラム: SHAKE) により算出した。応答震度法の地層モデルは、一次元地盤応答解析による成層地盤を対象とした解析であることから、地震時における地盤変形を考慮し、自然地盤のみの場合 (ケース 1) と埋戻し+自然地盤の場合 (ケース 2・3) とを検討した。

3) 函渠の損傷状況

平成 28 年度熊本地震後に実施した現地調査の結果、地震による函渠の損傷は認められなかった。そのため、熊本地震時の構造部材の発生断面力は許容耐力上限値以下だったことが想定される。しかし、構造部材の発生断面力は不明確な状態にあることから、「許容耐力上限値=再現解析結果」となることが最も安全かつ最適であると再現解析において想定した。

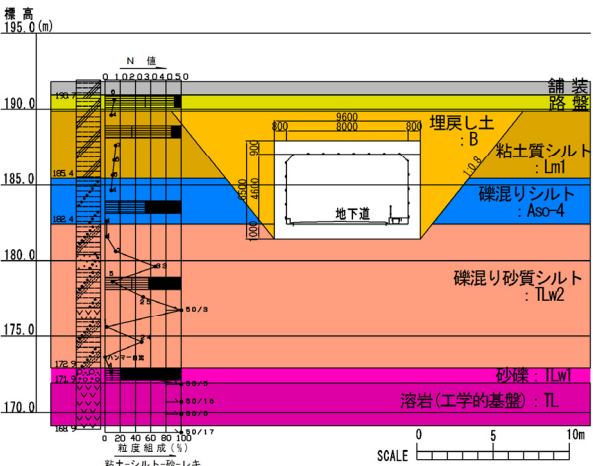


図-1 検討断面図

表-1 検討ケース

ケース	解析手法	地盤モデル
1	静的二次元 FEM 解析 (応答震度法)	自然地盤 (埋戻しを未考慮)
2	静的二次元 FEM 解析 (応答震度法)	埋戻し土+自然地盤 (路盤~躯体頂版部までを埋戻し土とした)
3	静的二次元 FEM 解析 (応答震度法)	埋戻し土+自然地盤 (路盤~躯体底板部までを埋戻し土とした)
4	動的二次元 FEM 解析 (FLIP) ※参考解析	自然地盤+埋戻し土 (埋戻し形状を考慮)

表-2 地盤条件

土質	記号	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断波速度 (m/s)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)
埋戻し土	B	13.0	100	30.0	0.0
路盤	—	20.0	300	43.0	0.0
粘土質シルト	Lm1	14.0	150	30.0	0.0
礫混りシルト	Aso-4	14.0	160	30.0	0.0
礫混り砂質シルト	TLw2	17.0	270	30.0	0.0
砂礫	TLw1	18.5	270	43.0	0.0
溶岩 (工学的基盤)	TL	21.0	540	44.0	0.0

キーワード 函渠, 応答震度法, FLIP, 耐震解析

連絡先 〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東二丁目 3 番 20 号 株式会社ニュージェック TEL06-6374-4901

4) 函渠の構造条件

函渠の構造部材は、要素ごとに非線形特性(コンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏)を考慮した非対称トリリニアモデルにより評価した。

3. 2016年熊本地震の再現波形

2016年熊本地震の再現波形を図-2に示す。地震動は平成28年熊本地震の本震を対象とし、野津²⁾により提唱された解析地点の再現波を函渠断面方向(滑走路平行方向)に角度補正して使用した。

4. 再現解析

1) 照査条件

熊本地震における函渠構造部材の耐力限界値(許容耐力上限値=再現解析結果)を再現するため、断面照査に用いる許容耐力上限値の安全率や材料係数を1.0(余裕が無い状態)として実施した。

2) 断面照査結果

耐震照査結果一覧表を表-3にFLIP解析結果(最大せん断ひずみ)を図-3に示す。再現解析の結果、動的二次元FEM解析法(ケース4)は、許容耐力上限値と同程度となり構造部材の応力状態を再現できていると考えられる。最大せん断ひずみについては、頂版上部の埋戻し土は自然地盤と比較してバラツキが大きくなっており、頂版上部の埋戻し土の評価によっては構造物の発生断面力が変動する可能性は高いことが分かった。側壁部の埋戻し土については自然地盤とのひずみ差は見られないことから、影響は小さかったことが考えられる。応答震度法については、ケース1およびケース2がケース4と近似する結果となった。特にケース2の頂版の曲げモーメントはケース4と最も近似しており、頂版上部の埋戻し土の影響を評価できていると考えられる。ケース3については、他のケースと比較して曲げモーメントが終局耐力を超過する結果となった。よって、ケース3は構造部材の応力状態を再現しているとは言い難い。上記より、応答震度法については、躯体頂版上部の地盤のモデル化には留意する必要がある。

5. 結論

今回の解析結果から、応答震度法においては地盤のモデル化には埋戻し形状等の影響(頂版上部の埋戻し土の影響を評価)を考慮すれば動的二次元FEM解析法と近似する結果が得られることが分かった。今回の解析は、非液状化地盤であるため、液状化が発生する地盤での適用性について確認できていない。今後は液状化地盤や複雑な地層モデルなどさまざまな地盤においても最適なモデル化について確認して行きたい。

6. 謝辞

本論文の作成に当たり、資料提供ならびに助言を頂きました国立研究開発法人 港湾空港技術研究所の野津様、国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所の関係者様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, *Report of the Port and Harbour Research Institute*, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990.
- 2) 野津他(2018): 2016年熊本地震による港湾施設等被害報告, 港湾空港技術研究所資料 (印刷中)

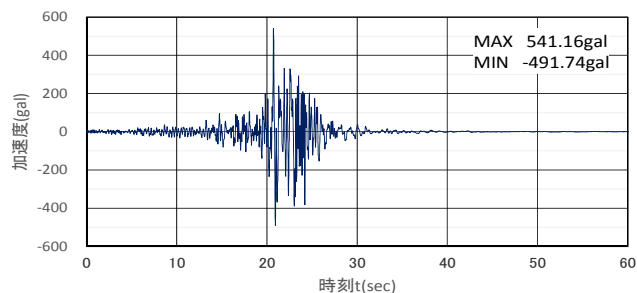


図-2 再現波形(工学的基盤面)

表-3 耐震照査結果一覧表(発生値/許容値)

ケース	応答値	頂版	側壁	底板
1	応答震度法 (自然地盤)	曲げ (Md/My)	0.863	1.027
		せん断 (Vd/Vyd)	1.044	0.901
2	応答震度法 (一部埋戻し土 +自然地盤)	曲げ (Md/My)	0.997	1.067
		せん断 (Vd/Vyd)	1.053	0.907
3	応答震度法 (埋戻し土 +自然地盤)	曲げ (Md/My)	0.994	1.120
		せん断 (Vd/Vyd)	1.059	0.885
4	FLIP (自然地盤 +埋戻し土)	曲げ (Md/My)	0.992	1.048
		せん断 (Vd/Vyd)	1.074	1.005

M_d : 発生曲げモーメント(kN・m) , M_y : 降伏曲げモーメント(kN・m)
 V_d : 発生せん断力(kN) , V_{yd} : せん断耐力(kN)
 着色: 黄色は降伏耐力を超過, 赤は終局耐力を超過

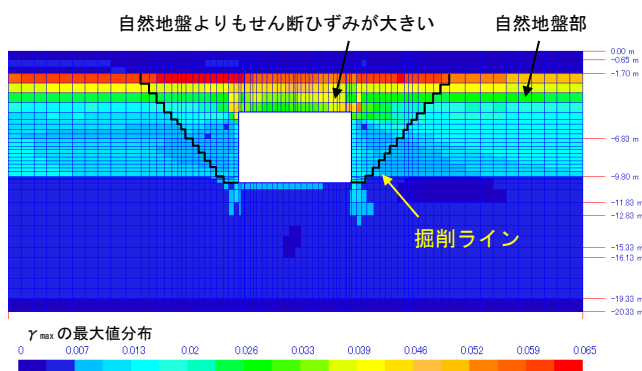


図-3 FLIP 解析結果(拡大図): 最大せん断ひずみ