液状化有効応力解析を活用した鉄道高架橋の耐震設計について

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正 芝尾朋子** 近藤政弘**濱田吉貞** (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正 丸山修* 阿部経夫*

1. はじめに

液状化地盤での鉄道高架橋設計において、有効応力での1次元地盤地震応答解析(ここでは液状化有効応力 解析という)を行い、解析結果を活用した耐震設計を試みた。この設計手法について報告する。

2. 地盤概要

対象地盤は、図1に示すように GL-25m 程度まで緩い砂層と軟 質な粘性土で構成されている。N値 10 程度の緩い砂層は、浅い位 置に広く分布しており、地下水位も GL-4m と比較的高く、液状 化の可能性は高いと想定される。なお、N値等を用いて鉄道耐震標 準¹⁾により算定される液状化指数は、L2 地震時で PL 20 となる。

3. 液状化有効応力解析(検討手順)

解析条件:液状化の可能性ある砂層 ~ (図1参照)において 試料を採取し、繰返し非排水三軸試験(側圧一定、一方向正弦波) を行った。試験結果より得られる液状化強度特性を用いて、液状化 有効応力解析を行い、各地層での加速度、過剰間隙水圧やせん断剛 性の変化を求めた。解析ソフトは FRIP²⁾を用い、入力地震動は耐 震標準による基盤地震動(L2地震動,スペクトル および)とし た。繰返し三軸試験の結果(軸ひずみ両振幅5%に至る繰返し回数 ~応力振幅比)を**図2**に示す。また、解析で用いる液状化対象層の 要素シミュレーション結果をあわせて表示している。なお、非液状化地盤(粘 性土)については、双曲線モデルでの非線形性を与え、動的変形特 性は安田・山口式³⁾を用いて算定した。

10

結果:より広い範囲で液状化するスペ クトル (直下型地震)での結果について 述べる。解析結果として、液状化対象層 (地層 ~)における応答加速度と過剰 間隙水圧を図3に示す。





図 3. 液状化有効応力解析結果

 Key Words:液状化・有効応力解析・一自由度系・非線形モデル・動的解析

 * 〒532-0011
 大阪市淀川区西中島 5-4-20
 Tel:06-6303-1446
 Fax:06-6390-9629

 ** 〒531-0071
 大阪市北区中津 1-6-24
 Tel:06-6374-7963
 Fax:06-6374-7971



標高(m)

図1. 対象地盤

e-mail: shibao@jrnc.co.jp

-887-

主要動ごとに過剰間隙水圧が次第に上昇し、最終的には地 すべて液状化する状態となる。また、浅い層ほど過 層 ~ 剰間隙水圧の上昇が早い傾向も確認された。

4. 耐震設計への反映方法(検討手順)

実務設計に用いられる構造解析法を考慮し、液状化の影響 は地盤ばね等を低減することで評価する。その低減率は、液 状化有効応力解析結果をふまえ、i)初期液状化、)完全液状 化の2つの状態を想定して求めることした(図4)。

初期液状化状態では、水圧比が 0.6 程度までとし、この間 で加速度(せん断力)が最大となる時点での地盤剛性低下率 (G/G₀)を地盤ばねの低下率とした。次に完全液状化状態 では、水圧比が 0.8 程度を選定し、同様に地盤ばねの低下率 を求めた。ここで 0.8 程度としたのは、完全に液状化された 時点では、加速度はほとんど生じないためである。このよう に設定した地盤ばねの値を表1に示す。

5.構造物の耐震設計(検討手順)

構造物の耐震設計は、鉄道耐震標準による設計方法に準じて、静 的非線形解析による荷重~変位曲線の算定 構造物の応答値の算 定(1自由度系モデルによる動的解析) 照査の手順で実施した。 低減した地盤ばねを用いた静的非線形解析により求まる Kh-

の関係から、降伏点等を反映したバイリニアモデルの骨格曲線を設 定し、1自由度モデルにより応答値を算定した。なお、履歴 モデルおよび減衰定数は耐震標準により設定し、入力波は液 状化有効応力解析で得られる地表面加速度を入力した。ここ で、完全液状化時における入力地震動は、初期液状化での応 答で網羅できる範囲を考慮し、1.2 秒付近の主要動以降の入力 とした。本地盤におけるラーメン高架橋直角方向の検討事例 を図5に示す。変形量自体は完全液状化時が最大となってい る。また、構造物の応答変位量と許容される変位量との比較 を表2に示す。

6.おわりに

液状化有効解析結果を活 用した設計手法として、初期 液状化、完全液状化の2段階 設計を試みた。設計実務を考

表2.1自	由度非線形解	『析の結果
-------	--------	-------

	初期液状化	完全液状化
応答加速度(m/ s 2)	5.02	3.60
応答変位(m)	0.401	0.428
許容変位 (m)	0.582	0.688
安全性	OK	OK



図4. 地盤ばね低減率の算定



			0.022102-0210	20110-0710
	過剩間隊	沐圧比	0.6	0.8
時間(sec)		1.76	2.58	
		地層①	0.20	0.05
	地盤ばね	地層②	0.20	0.05
	低減率	地層③	0.20	0.05
		地層④	0.25	0.15





図 5.1 自由度動的解析結果



図 6.1 自由度系動的解析モデル

慮した手法として他へも展開できると考える。最後に、本検討にあたり 貴重なご指導を賜りました(財)鉄道総合技術研究所、澤田亮氏、解析に ご協力頂きました(株)日建設計シビル、西山誠治氏に深謝の意を表します。

【参考文献】

運輸省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計,丸善,1999 1)

- |井合他:ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル,港湾技術研究所報告,第 29 巻,第 4 2) 号,pp27-56,1990
- 安田・山口:様々な不覚乱土における動的変形特性,第20回土質工学研究発表会,pp.539-542,1985 3)