

東北地方太平洋沖地震における東北新幹線沿線の液状化分析

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○和田 旭弘
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 藤原 貢士良
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 高崎 秀明

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方にかけて広範囲に液状化が発生した。東京湾岸や利根川下流域などの関東地方では様々な液状化発生報告がされているが、本稿では東北地方の東北新幹線沿線を対象に、本震で観測された地震動と建設時の地盤データを用いた鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)¹⁾(以下、耐震標準)に基づく液状化判定を行い、現地踏査での液状化発生状況との比較を行ったので、それらの結果について報告する。

2. 現行の耐震標準に基づく液状化判定

(1) 対象箇所の抽出

液状化判定実施箇所の抽出は、地震動の大きかった東北新幹線福島駅～くりこま高原駅間の、判定に必要なデータが得られる箇所²⁾のうち表層から20mの間に緩い砂層が存在する箇所を抽出した。その結果、抽出した箇所は東北新幹線仙台駅～古川駅間の14箇所となった。なお、当該箇所の微地形区分はいずれも後背湿地であり、過去の地震による液状化履歴を調べたところ、近傍で液状化が発生していた箇所も見受けられた。

(2) 抽出箇所近傍の地震動

防災科学技術研究所で設置している地震計 K-NET で古川駅周辺の地表面で観測された本震加速度波形を図-1 に示す。地震動の最大加速度は571gal (EW 成分) であり、継続時間は約150～200秒と非常に長いものであった。また、東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR 東日本)で設置した地震計においては、抽出箇所近傍に設置した地震計で458gal (NS 成分) の地表面最大加速度が観測されており、図-1 に示す波形同様に継続時間の長い地震動であった。

(3) 液状化判定

抽出箇所の柱状図と今回観測された継続時間の長い地震波を用いて、現行の耐震標準に準じ、累積損傷度理論を用いた液状化判定を実施した。

液状化検討を行った地盤モデルの一例を図-2 に示す。図-2 は古川駅周辺の柱状図を示したものである。判定にあたり、単位体積重量 γ 、細粒分含有率 F_c 、平均粒径 D_{50} は文献³⁾、静止土圧係数 K_0 、せん断弾性波速度 V_{s0} はN値より設定した^{1) 4)}。また、耐震標準に基づき、深さ20m以深の砂層は仮に液状化をしても P_L 値に影響を及ぼさないことから液状化判定しない層として計算した。

液状化判定に用いた地震動は、防災科学技術研究所および JR 東日本が地表面に設置している地震計で観測された地震動のうち、判定実施箇所に最も近い地震計で、最大加速度の大きかった成分の地震波を地表面に入力し、判定を行った。なお、参考として耐震標準に示す地盤種別毎の L1, L2 (スペクトルⅡ) 地震動でも判定を行っている。

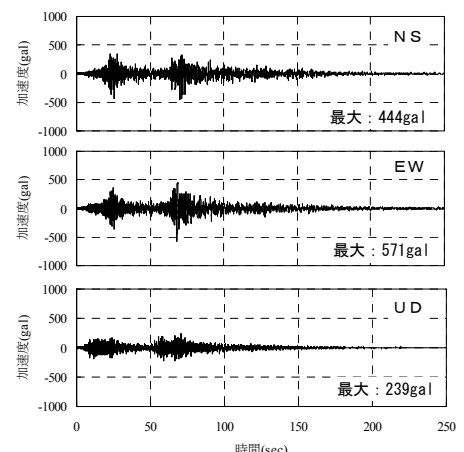


図-1 K-NET 古川の時刻歴加速度波形

□ 砂層 □ 粘土層・シルト層
 □ 有機質土 □ 岩

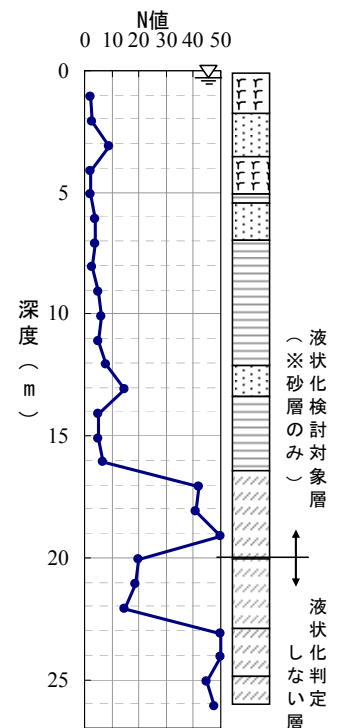


図-2 柱状図(古川駅周辺)

キーワード 東北地方太平洋沖地震 液状化 鉄道構造物

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事部 構造技術センター

(4) 判定結果

液状化判定結果を表-1 に示す。判定の結果，付近で観測された地震動に基づく P_L 値が， $5 < P_L \leq 20$ の“液状化危険度が高い”と判定された箇所は 7 箇所， $20 < P_L$ の“液状化危険度が極めて高い”と判定された箇所は 7 箇所であった。

3. 液状化発生状況と液状化判定結果の比較

液状化判定の結果，耐震標準で液状化地盤として考慮することとなる P_L 値が 5 を超えた箇所で現地踏査を実施し，東北新幹線沿線の液状化発生状況を確認した。液状化発生有無は，現地踏査による液状化の痕跡やヒアリングに基づき判断した。抽出箇所での液状化発生有無を表-1 に，現地状況を写真-1～3 に示す。観測波での P_L 値が 17.9 であった古川駅周辺の地点 12 では，写真-1，2 に示すように液状化による噴砂や地盤沈下が見られた。観測波での P_L 値が 23.9 であった地点 8 では，写真-3 に示すように，高架下設備などの直接基礎形式の構造物に液状化による傾斜の被害が見られた。これらの箇所では液状化判定結果が，実際に液状化が発生した状況を反映した判定結果となった。一方で，観測波での P_L 値が 8.9 であった地点 10 では，付近では液状化が発生した痕跡は見当たらなかった。

以上のように，液状化判定結果と実現象を比較したところ， P_L 値が 5 を超えていた 14 箇所中 6 箇所（うち，3 箇所は $20 < P_L$ ）で実現象を反映した結果を示しており，5 箇所（うち，1 箇所は $20 < P_L$ ）では液状化の痕跡は見当たらない結果であった。なお，残りの 3 箇所（3 箇所全て $20 < P_L$ ）については，付近で電柱の傾斜などが見られたものの液状化によるものか不明であった。

4. おわりに

東北地方の東北新幹線沿線を対象に，観測波を用いて，耐震標準に基づく液状化判定を行い，実現象との比較を行った。

その結果， P_L 値が 5 を超えた箇所では半数以上で， P_L 値が 20 を超えた箇所では 75%の割合で実際に液状化が発生した状況を反映していた。一方で， P_L 値が 5 を超えているが，液状化発生の痕跡のない箇所もあった。この原因としては，今回判定を行った土質パラメータが現地の地盤材料で試験した結果によるものでないことや，液状化による地表面への噴砂がないだけであって，実際は地盤内で液状化していることが考えられる。

今後は液状化発生状況と構造物被害の関係について，詳細の分析を行っていく予定である。

参考文献

1) 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。
2) 日本国有鉄道仙台新幹線工事局：東北新幹線（桑折・有壁間）地質図，1981. 12。
3) 安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1988. 11。
4) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（土留め構造物），丸善，2012。

表-1 液状化判定結果と実現象の有無

範囲	観測された最大加速度 (gal)	地点	地盤種別	PL値			実現象 ○：液状化痕跡あり ×：液状化痕跡なし △：不明
				L1地震動	L2地震動 スペクトルⅡ	観測波	
Ⅰ	428	1	G5	0.3	28.2	20.6	△
		2	G5	6.9	27.3	22.6	△
		3	G4	0.0	29.1	20.0	○
		4	G5	0.0	39.0	28.6	○
		5	G4	0.0	41.7	23.9	×
Ⅱ	458	6	G3	0.9	23.1	17.1	×
		7	G4	7.5	34.8	28.8	△
		8	G4	2.9	30.6	23.9	○
		9	G4	0.0	23.4	15.6	×
Ⅲ	383	10	G4	0.0	12.2	8.9	×
		11	G5	2.5	16.2	13.2	×
Ⅳ	571	12	G4	0.6	19.7	17.9	○
		13	G5	0.0	8.7	9.0	○
		14	G5	3.4	11.3	10.6	○



写真-1 古川駅前の噴砂状況



写真-2 古川駅高架下での地盤沈下



写真-3 高架下設備基礎の傾斜