

東西線南砂町坑口付近液状化対策について

THE MEASURES OF THE LIQUEFACTION AROUND THE MINAMISUNA-MACHI ENTRANCE OF TOZAI-LINE

横田三則* 久保田俊雄** 岡田龍二*

Mitsunori YOKOTA, Toshio KUBOTA, Ryuji OKADA

The seismic force of Hanshin-Awaji earthquake which considerably exceeded the earthquake-proof design condition, brought about enormous damage on the structures. Taking these damages into consideration Teito Rapid Transit Authority examined the possibility of liquefaction around the entrance of Tozai-Line and acquired the conclusion that some measures to cope with these situation should be taken. For this reason Teito Rapid Transit Authority prevents the damage of liquefaction by constructing the steel sheet-pile with drain and soil improvement of JSG. This paper is on the possibility of liquefaction, the selection of the measures for liquefaction and the measures it'sself.

Keywords: liquefaction, steel sheet-pile with drain, JSG

1. はじめに

昨年発生した阪神淡路大震災は既往の設計条件を大きく上回る地震力が作用し、各種構造物に甚大な被害をもたらした。この被害を受けて営団地下鉄東西線南砂町坑口付近の液状化の可能性を検討した結果、何らかの対策工が必要であるという結果が得られた。この結果を受けて、南砂町坑口付近に排水機能付きの鋼矢板工法及びJSGによる地盤改良を施し、液状化による被害をくい止めるものである。この論文では、液状化発生の判定法、液状化の工法の抽出法、液状化の工法について述べる。

2. 液状化の判定

液状化の判定は兵庫県南部地震と同じ地震波が当該地区基盤に入射した場合の営団地下鉄東西線南砂町坑口付近の地盤ならびにトンネル部の安定性を検討するとともに、対策工の検討を行う。

具体的内容は以下のとおりである。

- (1) 当該地区の液状化検討
- (2) 液状化の地下鉄構造物の浮き上がりの検討と対策

* 正会員 帝都高速度交通営団 建設本部設計部

** 帝都高速度交通営団 建設本部設計部

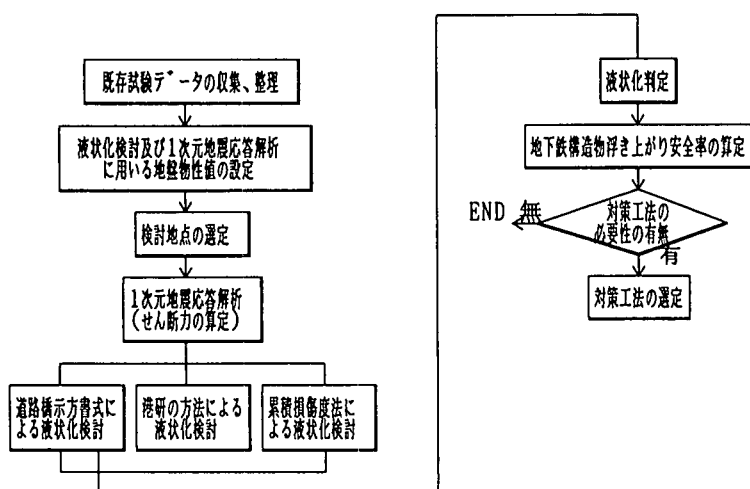


図1 液化化検討フロー

2・1 液化化検討

液化化検討のフローを図1に示す。

1. 検討地点

検討地点は図2に示したNo. 3, No. 4地点である。

2. 1次元応答解析

1次元応答解析により液化化検討で用いる地盤内せん断応力を求める。1次元応答解析は等価線形法を用いたプログラムである「SHAKE」を用いた。

3. 検討法

液化化の判定を次の3方法により行った。

- ①「道路橋示方書同解説V耐震設計編（平成2年2月）」による方法
- ②「港湾施設の技術の基準・同解説（1989）」による方法
- ③累積損傷度法（「液化化検討マニュアル（運輸省）」による方法

今回用いる検討方法は3種類ともポートアイランドで観測された基盤波形を入力し、1次元応答解析により得られた地盤内せん断応力を用いた。

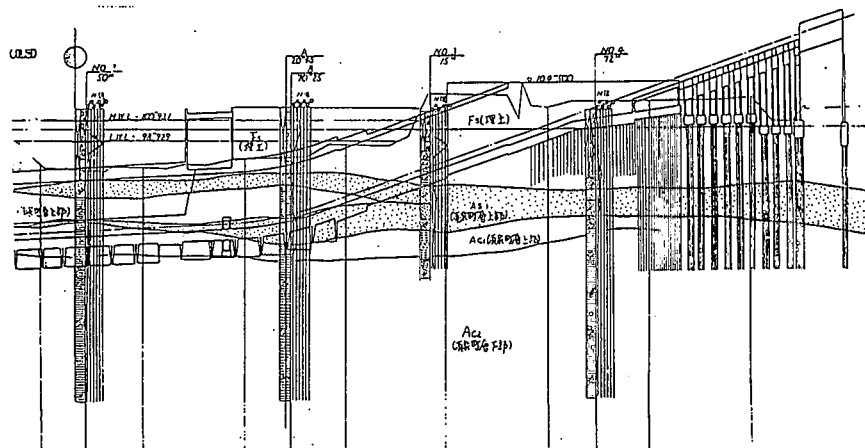


図2 液化化検討地点

①道路橋示方書式による方法

道路橋示方書式による方法は、地震時せん断応力比 L と地盤内での動的せん断強度比 R の値から、地盤内の各点に於ける液状化に対する抵抗率 F_L を定義する。

$$F_L \equiv R / L$$

この F_L を算定することにより地盤内の液状化の危険度を評価する。

道路橋示方書式による液状化検討結果を表1に示す。

表1 液状化検討結果

波 形 \ 地 点	No. 3		No. 4	
	最少 F_L	P_L	最少 F_L	P_L
ポートアイランド	0.345	16.9	0.45	14.8

ポートアイランド波形ではNo. 3, No. 4とも $F_L < 1$ 。0となり、液状化すると判断された。

②「港湾の施設技術の基準・同解説（1989）」による方法

港湾局の方法の手順を図3に示す。

（1）粒度による液状化の可能性の検討

No. 3, No. 4地点の A_{s1} 層の均等係数は $U_c = 49 \sim 120 (U_c > 3.5)$ となり、「均等係数が大きい砂」と分類された。

そこで、これらを対象に図4に「均等係数が大きい砂」が液状化する可能性がある粒土範囲に今回検討地点の粒径加積曲線を合わせて示す。

図4より、No. 3, No. 4地点とも土の粒度による分類では、「特に液状化の可能性あり（A）」と判断された。

（2）液状化ランクの判定

（1）より液状化の可能性Aという結果がでたことにより、等価N値および等価加速度の算定し、液状化ランクの判定をした結果、No. 3, No. 4地点の A_{s1} 層は液状化すると判定された。

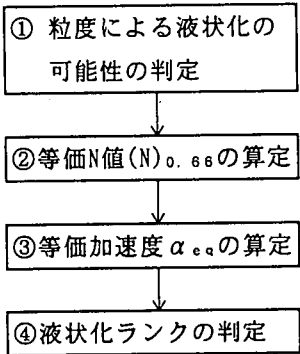


図3 液状化判定の手順

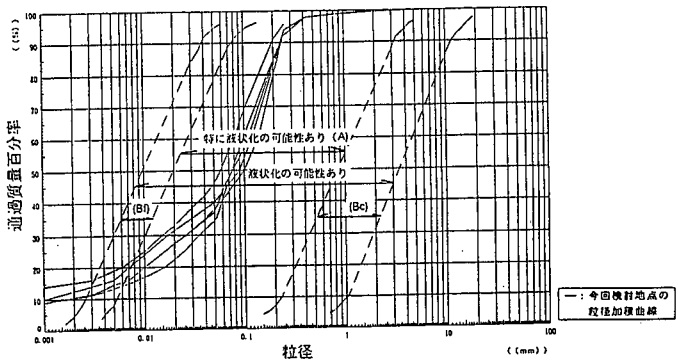


図4 検討地点の粒径加積曲線

③累積損傷度法

累積損傷度法による液状化の検討結果を表2に示す。

表2 液状化検討結果

	No. 3	No. 4
ポートアイランド波	0. 5	0. 57

によると、表2によると、No. 3, No. 4とも $F_L < 1.0$ となり液状化すると判断される。

2・2浮き上がりに対する検討と対策

浮き上がりに対する検討はポートアイランド波による1次元地震応答解析結果（せん断応力）と液状化強度（ R_{120} ）を用いた「道路橋示方書による方法」より算定された液状化検討結果を使い、検討地点は図2に示す4地点で、図5の解析モデルを用いて行った。

検討結果

浮き上がりの検討結果を表3に示す。

表3 浮き上がり安全率の算定結果

地 点	浮き上がり安全率
1	0. 86
2	0. 72
3	0. 51
4	0. 44

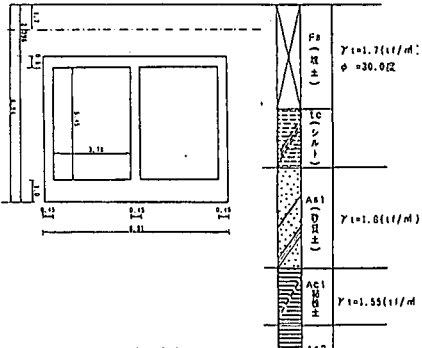


図5 解析モデル

この結果、すべての地点で許容値である $F_s = 1.1$ を大きく下まわり、浮き上がりに対して安全は確保されないと判断された。

3. 判定結果

3種類の判定はいずれも液状化が発生するという結果となった。また浮き上がりについても4地点すべてで安全率を下回った。よって東西線南砂町坑口付近に対して、何らかの対策工が必要であるという結論が得られた。

4. 液状化対策工法の検討

液状化対策工法の検討として、まず数種類の液状化対策工法を列举しさらにそれを以下のように2つの考え方に分類した。

- ①土の性質を変えたり、間隙水圧を消散させる液状化の発生そのものを防ぐ方法
 - ②液状化の発生は許しても、それにより構造物が被害を受けないようにする方法
- である。しかし液状化による構造物への被害がなければどちらの方法でも問題はないという結論となり、別の4つの観点から工法を絞ることにした。

- (1)対策工の効果
- (2)設計施工上の問題点
- (3)環境上の問題点
- (4)現地南砂町坑口付近に対する評価

である。この4つの効果や問題点をそれぞれの対策工法に当てはめ、総合的に評価したところ、最終的に以下の2つの工法が最適であるという評価が得られた。

1. 鋼矢板工法
 2. 噴射攪拌工法による円柱固結体の造成
- である。

4・1 対策工の効果

・噴射攪拌工法(円柱固結体) (図6)

- ①構築下部層の液状化を防止する。
- ②構築側部液状化層の間隙水圧および土砂の回り込みを阻止する
- ③間隙水圧・土砂の下部から回り込みに対し、地盤改良部分の地盤重量が抵抗する
- ④構築下部の地盤改良により、構築の沈下にも対応できる

噴射攪拌工法とは空気を伴った超高压硬化材液を地盤中で回転させながら噴射を行い、地盤を切削すると同時に円柱状の固結体を造成する工法である。柱状固結体の造成方法には、JSG工法とコラムジェットグラウト工法の2工法があるが、今回の施行範囲の対象地層について、ほとんどがN値は10以下であり施行深度との適性度を考えるとコラムジェットよりJSGの方が適性度が高く、経済性も良いことから今回はJSGを採用することとした。

・鋼矢板工法 (図7)

- ①鋼矢板は構築側部液状化層からの間隙水圧および土砂の回り込みを阻止する。また、根入れにより下部よりの回り込みを阻止する。
 - ②鋼矢板は構築下部液状化層を閉合、拘束し、地盤のせん断変形を抑制する。これに伴って、閉合内部地盤の間隙水圧の上昇およびせん断変形による土の圧縮(構造物の沈下)も抑制する。
 - ③鋼矢板に取り付けられた排水ドレーンは、間隙水圧の上昇分に相当する水量を速やかに排水、水圧を消散させ、構造物の浮上を抑制する。
- ・なお、鋼矢板には排水機能をつけ、地震時における鋼材周辺地盤の間隙水圧の上昇を抑え、かつ、早期に逸散させるため地盤強度が保持され、地盤の抵抗をより期待させる。

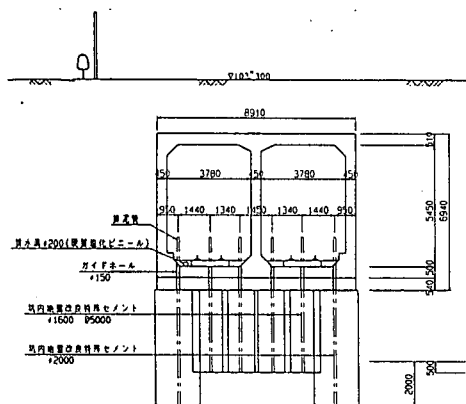


図6 JSG工法

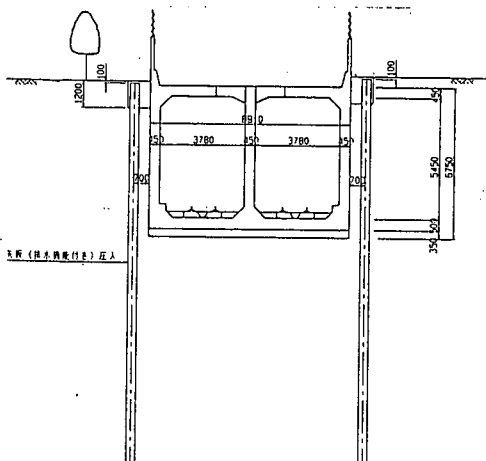


図7 鋼矢板工法

5. 工事範囲

今回工事対象となった区間は全長295mのトンネル坑口付近であり、地上部(170m)と地下部(125m)の2つに大別される(図8)。地下部はトンネルの真上に家屋があり地上部は構築の片側が遊歩道、片側が私道となっている。

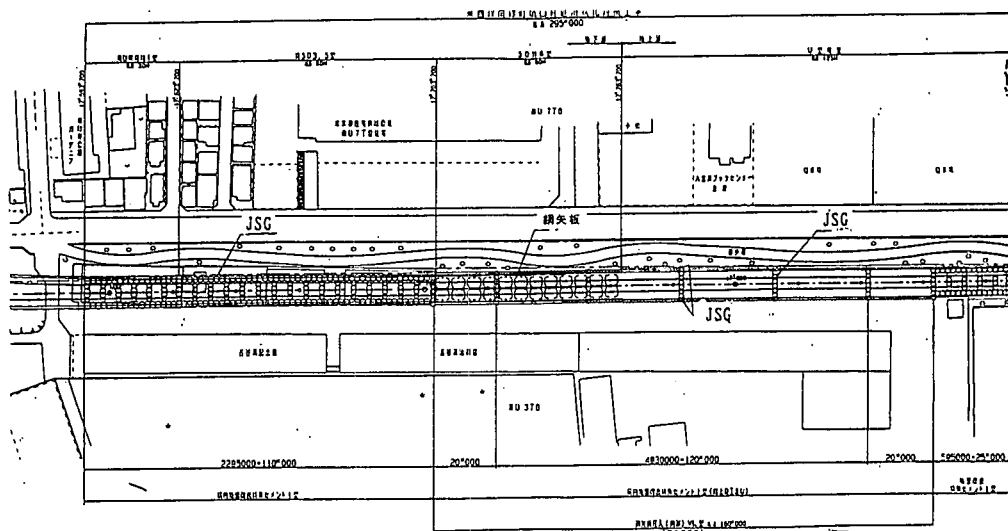


図8 工事範囲

6. 工法

鋼矢板工法は地上部に工事用地を必要とし、家屋があるところでは施工が困難である。よって民地帯ではシートパイル圧入ではなく、坑内からのJSGによる地盤改良を実施する。このJSGは全面施行するのではなく5m間隔で行う。またシートパイル圧入区間でも30m間隔でJSGを行い、横断方向の仕切効果を期待することとした(図8)。今回の工事は坑内作業と地上作業に分かれるが、坑内作業であるJSGは、所定のトンネル下床位置に穴を開け、そこから管を通し硬化材を噴射させて地盤改良を行うというものである。このJSGは施工箇所が合計330ヶ所、施工延長2100mである。また地上作業である鋼矢板工法は、施行に伴い構築側部と土の摩擦抵抗が減少するため矢板と構築物とをケミカルアンカーによって固定し、浮き上がりの防止工を行う。

7. おわりに

今後地下鉄構造物の液状化対策は、この南砂町の工法が基本となるわけだが、地震によるその効果は確認出来ないが、実際工事を進めていく中で施工法の問題点やそれによる工法の見直しなど数々の問題点を列挙し、今後の工事に生かしていく必要があると思われる。