

付属資料2 地盤の液状化程度の推定

1. 周辺の地盤状況

上越新幹線の脱線の原因が、構造物の損傷や地盤によるものであるかどうかについては、衆目の関心を集めるところである。

脱線箇所付近では、図1のように高架橋柱に泥土が跳ねた跡があること上がりが見られたことなどから、当初から脱線に対する液状化の影響を指摘する向きが多かった。

図2に液状化地盤の地震前、地震中、地震後の挙動を示すが、地盤の液状化とは、緩い砂層などにおいて、地震時によりせん断応力が作用した際に土の噛み合わせが外れて生じる現象であり、地震中においては地盤剛性や支持力の低下をもたらし、地震後においては間隙水の排水ともなう体積変化から沈下が生じる。しかしながら地震後に行った土質試験によると、脱線箇所付近の埴泥が確認された位置においては上層に液状化の検討対象となるような砂層は存在せず、砂質シルト（砂分31%、シルト分51%、粘土分18%）が堆積していたため、この痕跡はこの層における噴泥痕と思われる。しかしながら、当該地点近傍においては、図3に示すようにマンホールが液状化により浮上したことが確認されており、当初、この地区全体が液状化したような誤解があったが、この件についてはその後の学会等の調査において、図4に示すようにマンホール設置時の埋め戻し土が液状化したことによるものであり、構造物の支持特性に影響を及ぼす深い位置の自然地盤の液状化ではないことが判明している。



図1 高架橋柱の噴泥痕跡

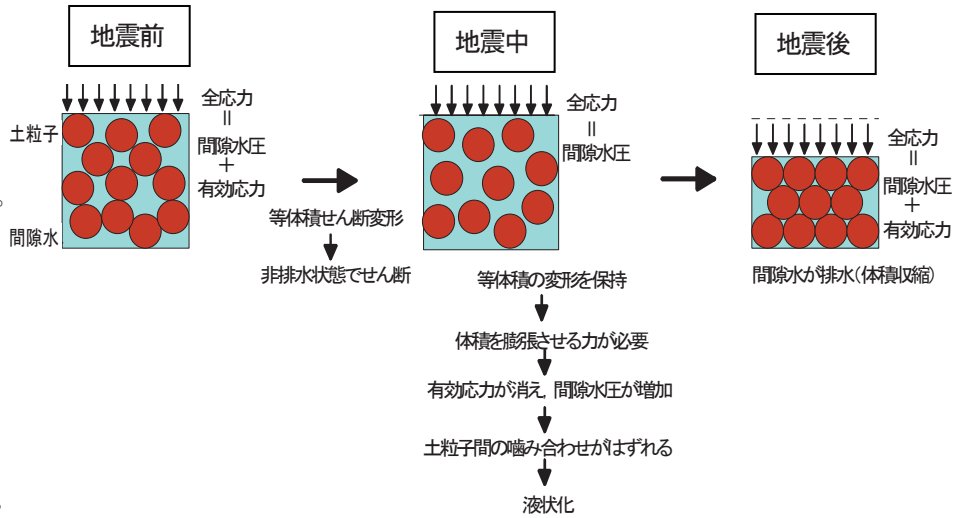


図2 液状化地盤の挙動

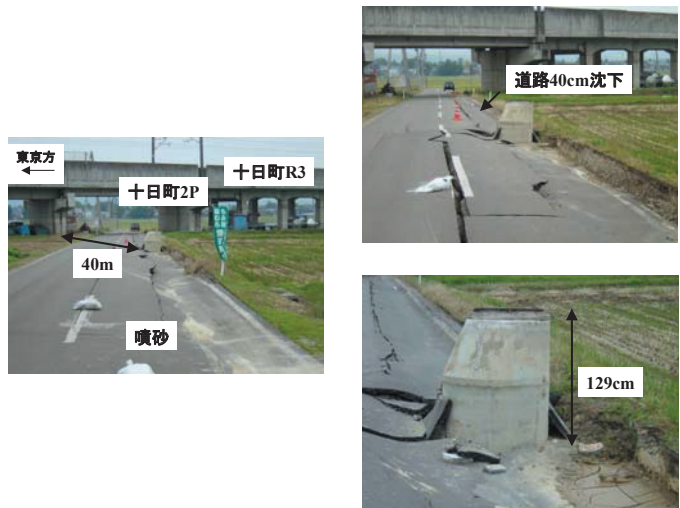
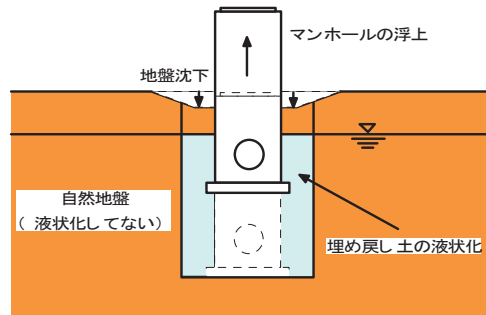


図3 十日町BL付近のマンホールの浮上



マンホールは埋め戻し土よりも軽いため、埋め戻し土が液状化すると浮き上る。

図4 マンホール浮上の模式図

2. 地盤の液状化判定

2.1 液状化抵抗率 F_L による判定

建設時のボーリング調査結果、新たに実施した土質調査結果ならびに、2次元地震応答解析結果に基づき、詳細に当該地区における液状化が発生する可能性について評価した。液状化発生の可能性の評価、すなわち液状化の判定については、地盤の液状化に対する安全率である液状化抵抗率 F_L を算定することでことが一般的である。以下に、液状化抵抗率 F_L による液状化判定の概略を示す。

液状化抵抗率 F_L による液状化の判定は、地盤特性と地震動特性を定量的に評価して地盤の液状化危険度を予測する方法で、最も実績が多く、一般的な手法である。

この手法は、図5に示すように室内土質試験あるいは原位置試験 (N値) から求められる地盤の液状化に対する強度 R (液状化強度比) と地震応答解析結果または地表面最大加速度から求められる地震時に地盤に作用する外力 L (地震時せん断応力比) を比較して液状化の危険度を判断する方法である。

すなわち、各検討深さにおいて式(1)より算定される液状化抵抗率が1.0以下の土層については液状化が発生する可能性があるとして判断し、特に0.6以下の場合には構造物への影響が大きいと判断される。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad (1)$$

ここに、 R : 液状化強度比

L : 地震時最大せん断応力比

F_L : 液状化抵抗率

$F_L \geq 1$ 液状化しない

$0.6 < F_L < 1$ 液状化の可能性あり

$F_L \leq 0.6$ 液状化の影響が大きい

なおここでの検討は、脱線箇所において新たに行った土質調査において、液状化の可能性が予想される層の土をサンプリングし、室内土質試験結果 (振動三軸試験) より地盤の液状化に対する強度 R (液状化強度比) を推定した。

また、地震動の推定は、新長岡SSPの観測波形を用いた2次元地震応答解析からの当該地点での地震動を推定した波を用いて地震時に地盤に作用する外力 L (地震時せん断応力比) を算出した。

2.2 液状化指数 P_L による評価

F_L は、検討する土層の1ポイントでの評価であるが、

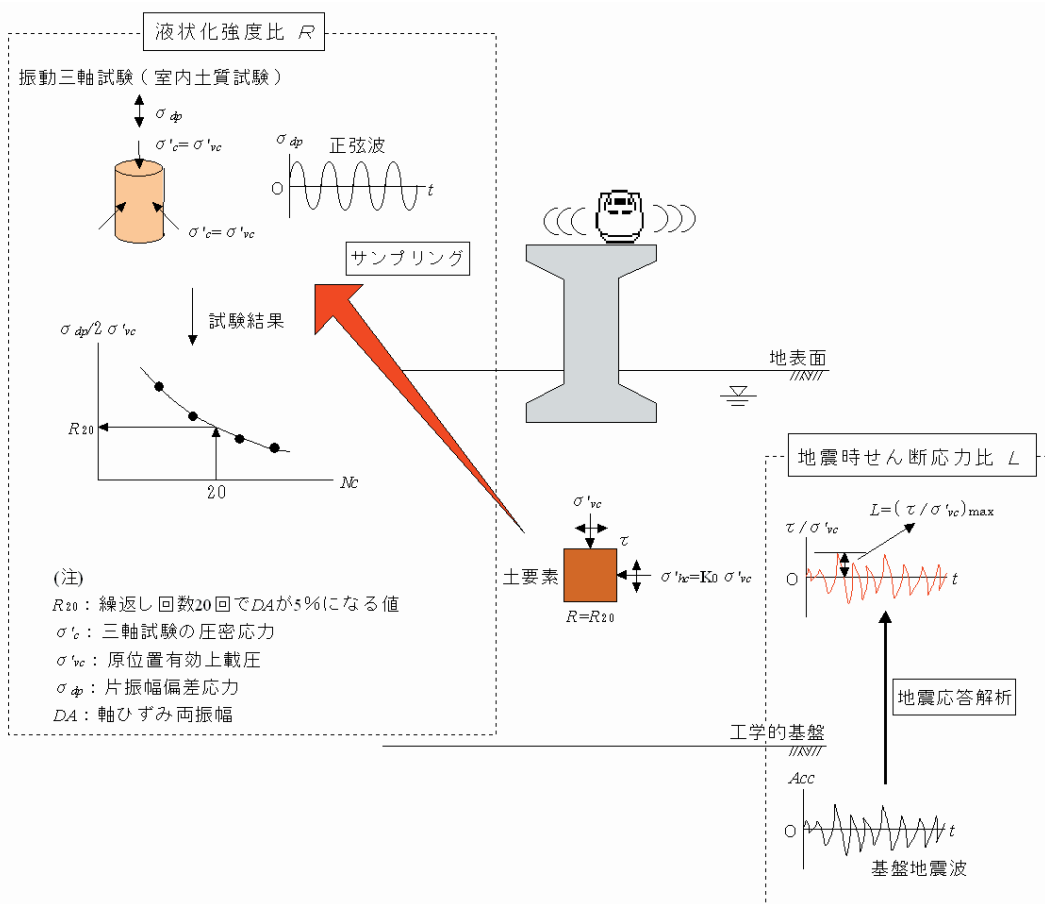


図5 液状化強度比と地震時せん断応力比の算定法

仮に局所的に液状化した土層があったとしても地盤全体の液状化につながるわけではない。このため、構造物の挙動評価に際しては、液状化の範囲、程度について、深さ方向の分布および周辺地盤の状況等から総合的に判断する必要がある。

この場合、式(2)より算定される液状化指数 P_L （液状化抵抗率の深さ方向の変化から、液状化の激しさの程度を表す指標）が判定の目安となる。

$$P_L = \int_0^H (1 - F_L) w dz \quad (2)$$

$$w = 10 - 0.5 z$$

ここに、 P_L ：液状化指数

F_L ：式(1)より算定される液状化抵抗率

w ：液状化抵抗率の深さ方向の重み関数

z ：地表面からの深さ (m)

H ：液状化の判定を考慮する表層地盤の厚さ
で $H < 20\text{m}$ とする

$F_L > 1$ の土層および液状化の判定対象外の土層については $F_L = 1$ として考慮

ここで、一般的な評価法としては、液状化指数 $P_L \geq 5$ 以上の場合について、液状化の影響を考慮するものとし、 $P_L < 5$ の場合については液状化の影響はないものとしている。

3. 当該地区の液状化判定結果

当該地区における液状化の評価は、当該地区の平面的な広がりやを考慮した2次元地震応答解析結果に基づいたより詳細な評価を実施するとともに、検討範囲としては渡沢南BL～十日町高架橋（R5）までとした。

判定の結果を図6に示す。この検討により液状化の可能性が指摘される層を着色して示している。この判定結果においては、当該地点における液状化の発生が指摘される箇所は極めて限定的である。また、液状化指数 P_L については、この解析が2次元の地盤応答解析で行ったため、地形の影響で地表面での加速度が増大し、地盤面のごく浅い位置での F_L の影響で10を超える箇所が多少あった。

これは、液状化指数 P_L は浅い範囲での液状化程度の寄与率が高いことが原因である。しかしながら、当該地点の構造物の支持力に影響及ぼすことが想定される深さにおける判定結果は、液状化が懸念される層も薄く、液状化抵抗率 F_L も1を若干下回る（0.7～0.9）だけであることから液状化の程度は激しくない。また、図6に付図として示した設計で用いる土質定数の低減係数も小さい範囲であり、その影響程度は小さい。

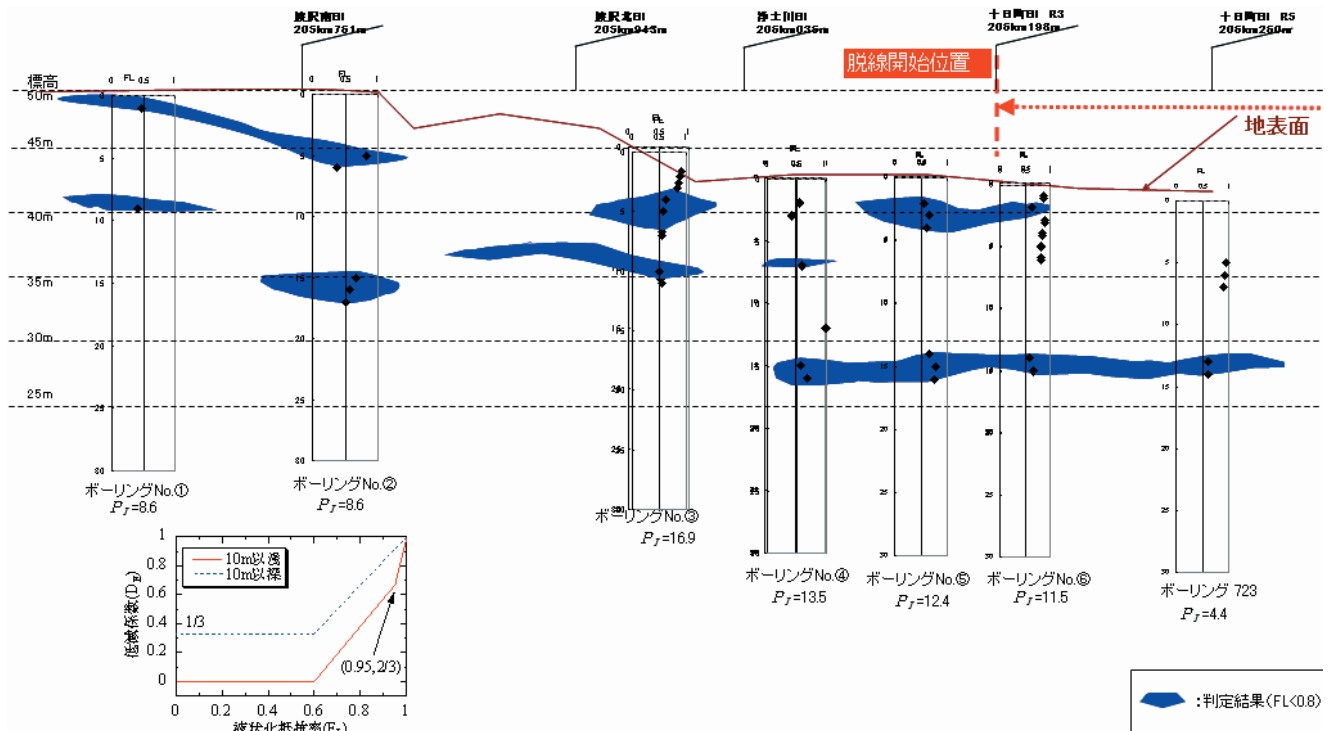


図6 液状化の判定結果 (F_L 分布)