

液状化検討の応用理学的な対応事例



佐藤 匠

REPORT

技術本部 道路構造部
佐藤 匠

概 要

道東の太平洋沿岸に位置する A 町では、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に備えた津波防災として、人道橋を含む避難路整備を計画していた。橋の基礎形式は、当初、周辺の既往ボーリング調査に基づき、浅部の礫層（N 値 50 以上）を支持層とする杭基礎想定をしていた。しかし、詳細調査の結果、礫層の層厚は 5m 程度で、下位に N 値 20 以下の相対的弱層が厚く分布していることが明かになり、耐震設計上の問題となった。本稿では、この相対的弱層の液状化に対し、応用理学的なアプローチで解決を試みた事例を紹介する。

キーワード | 液状化、杭基礎、支持層、洪積層、沖積層、放射性炭素年代測定

1. はじめに

A 町は、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に伴う津波に対し、津波避難対策を特に強化すべき地域として内閣総理大臣によって指定されている。

A 町ではこれを背景として地域住民や周辺労働者が高台に避難するための人道橋を含む避難路整備が計画された。

本報告では、避難路橋の設計に必要な支持層の確認や液状化検討のために行ったボーリング調査で生じた問題への対応事例を紹介する。

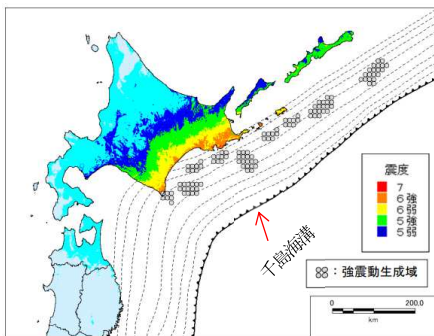


図-1 想定震度

(内閣府 防災情報ページ 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討会 参考図集) より加筆

2. 液状化とは

一般的に液状化は、地震による強い揺れで土粒子間の結合が失われ、地盤が液体状になる現象である。発生時には、地盤からの噴水、建物の沈下、マンホールや埋設管の浮上などが生じる（写真-1）。

液状化の発生条件は「道路橋示方書 V 耐震設計編」P161～P162 に次のように示されている。

沖積層の土層で以下の 1)～3) の条件全てに該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行わなければならない。

- 1) 地下水位が地表面から 10m 以内にあり、かつ、地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
- 2) 細粒分含有率 FC が 35%以下の土層又は FC が 35%を超えても塑性指数 I_p が 15 以下の土層
- 3) 50%粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層



写真-1 マンホールの浮き上がり (H5 釧路沖地震)¹⁾

3. 既往資料調査

本調査地周辺では、A 川沿いの低平地部北端付近の 5 箇所(図-2)でボーリング調査が実施されており、これらを用いて避難路計画地の地質状況を推定した(図-3)。この結果、避難路橋の基礎形式は、 $N \geq 30$ の砂

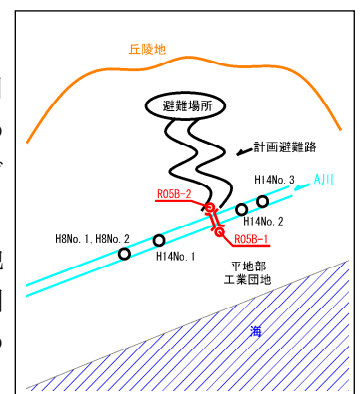


図-2 避難路計画地の既往調査

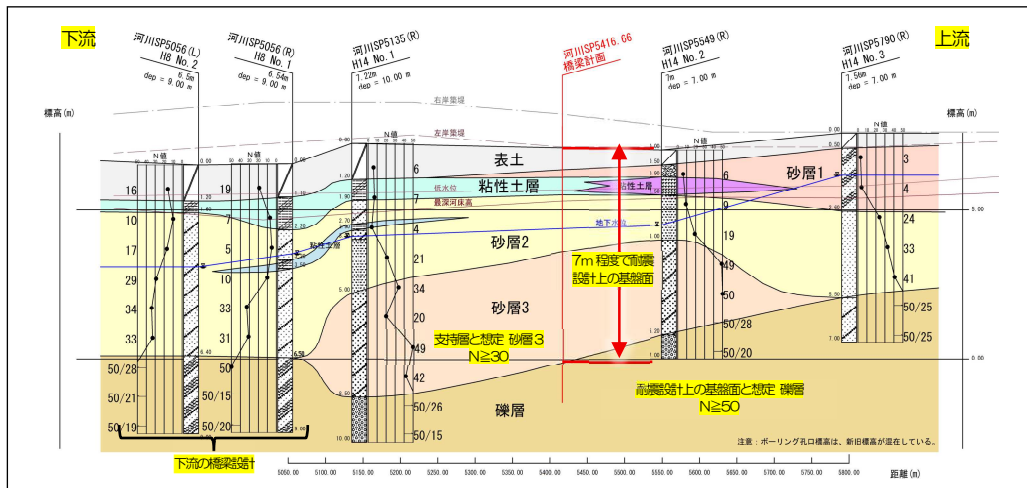


図-3 想定地層

層～礫層を支持層とする「杭基礎」を想定した。

そこで次に示す3つの仮説を立てた。

4. ボーリング調査の結果

本調査の結果、表土から砂層3までは想定地層と同様の層序が確認された。しかし、耐震設計上の基礎面として想定した $N \geq 50$ の礫層は薄層に留まり、その下位には、 N 値が相対的に低い細砂層や粘性土層 ($IP \leq 15$) が厚く分布していることが判明した。(図-4)

これにより、礫層は不完全な支持層となり下位層が液状化する可能性が懸念された。

5. 仮説

液状化の判定対象条件には、「沖積層の土層で・・・」と明記されている。このため、礫層下位に分布する相対的弱層を沖積層より古い年代の「洪積層」と結論付けられれば、非液状化対象層と判断できると考えた。

仮説1. 上下流に広がる礫層

想定地層から、A 川の上下流には礫層が広がっており、段丘礫のような面的な広がりをもつと考えた。これは、洪積世(数万年～数十万年前)の海面低下期に堆積した埋没段丘と想定され、その下位で確認した相対的弱層は、より古い層と判断される。

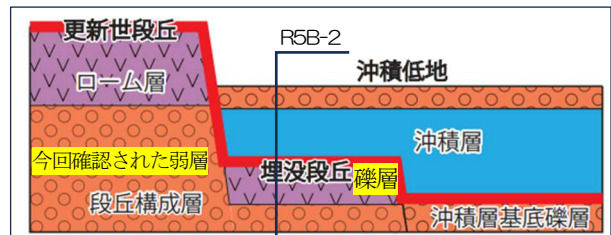


図-5 調査箇所周辺のイメージ図

(相模川下流平野における第四紀地下地質と埋没段丘面分布より)

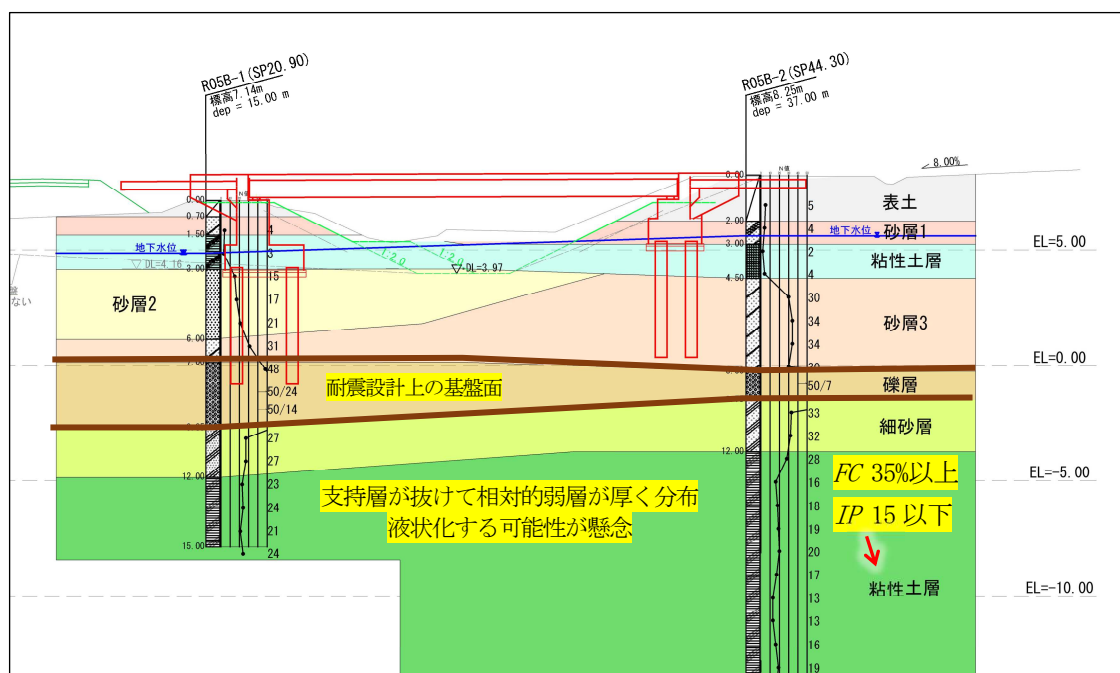


図-4 調査結果の地層

仮説 2. 均質な土層

礫層下位の相対的弱層は、均質に厚く堆積していることが確認された。これは、堆積環境が長期間変化していない洪積層の特徴である。一方、沖積層では、砂礫、砂、粘土などの土層が数 m ごとに変化することが多い。

仮説 3. *N*値が高めの粘性土

粘性土層の *N* 値は、大きい値(約 15 以上)を示している。これは、堆積物が長期間かけて締め固まった続成作用の可能性があると推定される。

表-1 粘土のコンシステンシー²⁾

表-2.5.4 *N* 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck¹⁾)

<i>N</i> 値	q_u (kN/m ²)	コンシステンシー
0~2	0.0~24.5	非常に柔らかい
2~4	24.5~49.1	柔らかい
4~8	49.1~98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い
30~	392.4~	固結した

以上 3 つの仮説から、礫層下位の粘性土層は「洪積層」であると想定した。

6. 検証

これら 3 つの仮説を踏まえ、礫層下位の土層が洪積層であるという確固たる証拠がないか検討したところ、深度 17.5m 付近のボーリングコアに貝殻片が混入していたため、この貝殻片を用いて、年代測定を行うことで該当する地層の堆積年代の測定が可能になると考えた。



写真-2 深度 17.5m で発見した貝殻片

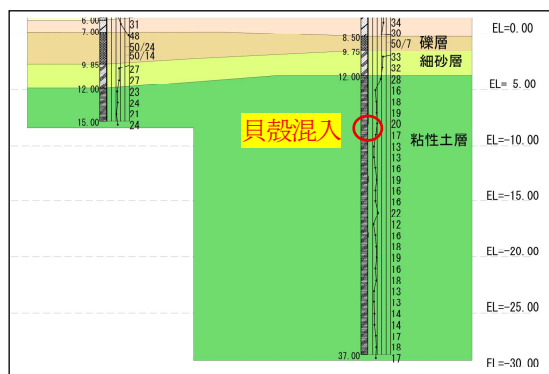


図-6 貝殻片発見場所

～年代測定法～

正式には放射性炭素年代測定と呼ばれる。この方法は、炭素 14 (¹⁴C) という放射性同位体の性質に基づいている。炭素 14 は、宇宙線と大気中の窒素との反応により常時生成され、大気中で酸素と結合して二酸化炭素となり、植物に吸収される。動物は食物連鎖を通じて炭素 14 を体内に取り込み、生物の死後、新たな炭素 14 の取り込みが停止する。体内に存在する炭素 14 は放射性崩壊により時間とともに減少し、その半減期は約 5730 年とされる。この特性を利用し、試料中の炭素 14 の残存量を測定することで生物の死んだ時期を推定できる(環境省 HP)。

7. 年代測定結果

年代測定の結果、対象の貝殻片は、53,890yrBP※(5.4 万年)以上前のものであることが判明した。ここで、洪積層の堆積年代は約 1.17 万年～258 万年前までとされている。したがって、今回確認された貝殻片は洪積層の年代の範囲内に含まれることになる。

このことから、礫層以深に分布する一連の細砂層および粘性土層は洪積層であると判断され、液状化の検討は不要と結論付けた。

8. 今後の展開

今後の調査では、沖積層を支持層とする場合、*N* 値 50 の支持層が確認されてもその下位に弱層が無いか慎重に確認する必要がある。特に、少なくとも 1 箇所については液状化対象層(深度 20m)までの地質状況を把握する必要がある。

＜参考文献＞

- 1) H5 年釧路沖地震調査報告書 基礎地盤コンサルタンツ
- 2) 地盤調査の方法と解説：H25. 3. 25, P309
- 3) 日本地質学会 HP：国際年代層序表

※ yrBP：1950 年を基点にして何年前かを示した年代

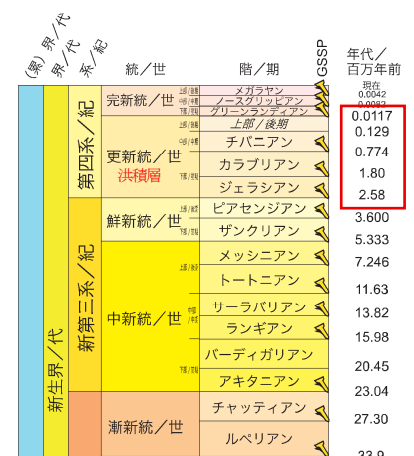


図-7 地質年代³⁾