

まえがき

1978年宮城県沖地震(1978年6月12日, $M=7.4$)により、宮城県内を中心として土木構造物等に甚大な被害が発生した。筆者らは、地震直後多方面にわたり初動調査を実施し報告を行っているが、²⁾ 本文は初動調査に引き続いて実施した詳細調査の結果の一部である。ここでは地盤の液状化に関して実施した調査の報告を行うが、その内容は1) 地盤の液状化の概要、2) 原位置(名取川の中村地区、北上地区および北上大橋)における地盤の耐震性調査、3) 液状化の判定に関する検討である。

1 地盤の液状化の概要

宮城県沖地震で、筆者らが確認している地盤の液状化(噴砂)地帯は、30箇所である。²⁾ 図-1に液状化地帯の分布図を示すが、宮城県内の沖積地に集中していることがわかる。これらの液状化地帯は、名取川の中村地区、北上地区あるいは北上大橋のように河川堤防、橋梁に被害が見られている地帯もあれば、構造物に被害の見られなければいけい地帯もある。ただし、今回の地震では、新潟地震で見られたような大規模な液状化は見られず、大部分は局所的な小規模な噴砂に止まっている。

液状化の生ずる限界震央距離(R)とマグニチュード(M)の間には相関のあることが確認されているが、³⁾ 宮城県沖地震で液状化の確認されている地帯に対して両者の関係を描いたものが図-2である。同図からも明らかのように今回の地震での液状化発生地帯の震央距離は $R=80\sim 114$ (km)であり、液状化発生の限界震央距離に位置している。また、図-3は地震直後、1箇所の噴砂地帯で採取した噴砂の粒度分布をまとめたものである。噴出する際の大粒径砂の残留あるいは微細砂の洗い流し等が考えられるが、噴出砂の平均粒径(D_{50})は0.22~0.50の範囲にあり、比較的粒径の揃った砂であることがわかる。

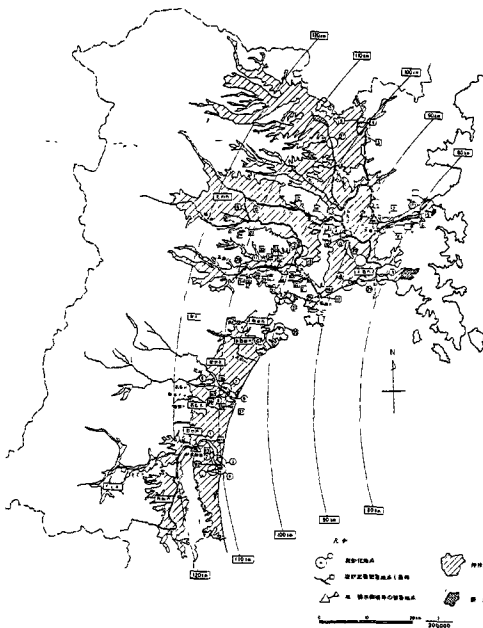


図-1 液状化地点分布図

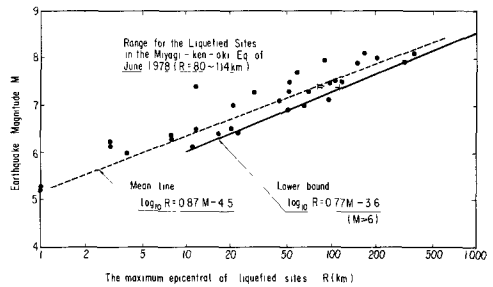


図-2 マグニチュードと限界震央距離³⁾

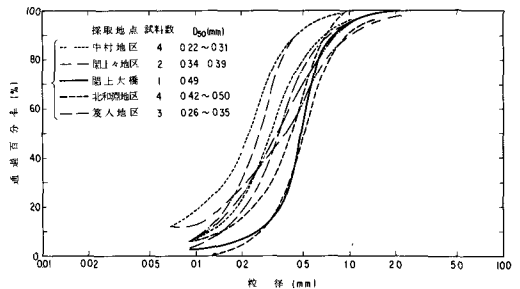


図-3 宮城県沖地震における噴砂の粒度分布



図-4 原位置地盤耐震性調査地点。(中村, 岡上上, 岡上大橋)

2 原位置における地盤の耐震性調査

地盤の耐震性に関する詳細な調査を名取川の中村地区(左岸河口下り2.4km), 岡上上地区(右岸同2.8km)および岡上大橋(同1.0km)の3地区で実施した(図-4参照)。中村地区では堤内外両方で噴砂が見られ, 堤体も約110mにわたって陥没(最大1.5m)・亀裂を生じている。岡上上地区では堤内法尻付近で陥没・亀裂が見られた。また, 岡上大橋では橋軸方向への桁の移動が見られ, 支柱の破損, 橋脚の亀裂等の被害が生じている。

これらの地区では, ボーリング, PS検層, 標準貫入試験, 不攪乱試料採取等の原位置調査を実施した。として引継ぎ物理特性試験, 室内動的強度試験を行い, それらの試験結果を基にして地盤の耐震性調査を行った。

図-5は原位置より採取した不攪乱砂質土の動的強度試験結果であり, $DR^* (= R_e - 0.0042 D_r^*)$, $D_r^* = 2\sqrt{N(10^2 + 0.7)}$ と D_{50} の従来の関係⁽⁴⁾ 上に対比させたものである。今回の結果が従来の分布傾向と似ていることがわかる。

上記の地区において(1)式で定義される液状化抵抗係数(F_L)を算定した⁽⁴⁾。

$$F_L = R/L$$

ここに, R : 動的強度比, L : 地震時動的応力比

図-6より各々, 中村地区の堤防被災地盤のF流側堤内法尻(N-1), 岡上上地区の堤防被災地盤の堤内法尻(Y-1)および同地区の無被災地盤の堤内法尻(Y-3)での計算結果がある。これらの地区ではRおよびLは各々, (2)式, (3)式による簡易推定式により計算した⁽⁴⁾。

$$R = \begin{cases} = 0.0042 D_r^* + 0.19 & [0.02^m \leq D_{50} \leq 0.05^m] \\ = 0.0042 D_r^* + 0.225 \log_{10}(D_{50}/0.35) & [0.05^m \leq D_{50} \leq 0.6^m] \\ = 0.0042 D_r^* - 0.05 & [0.6^m \leq D_{50} \leq 2.0^m] \end{cases} \quad (2)$$

$$L = \sqrt{R_s} \sigma_r / \sigma_f \quad (3)$$

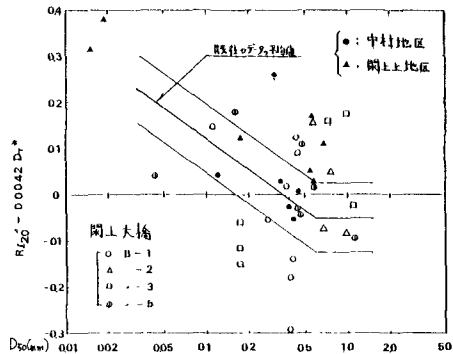


図-5 地盤の動的強度試験結果

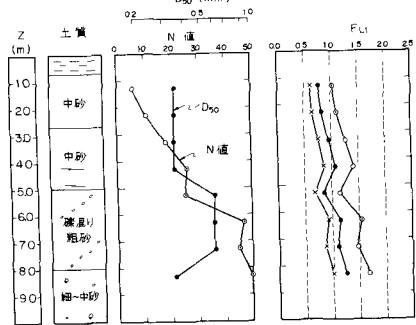


図-6 液状化の簡易判定結果(中村地区, N-1)

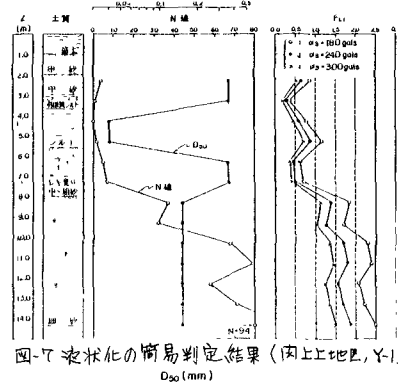


図-7 液状化の簡易判定結果(岡上上地区, Y-1)

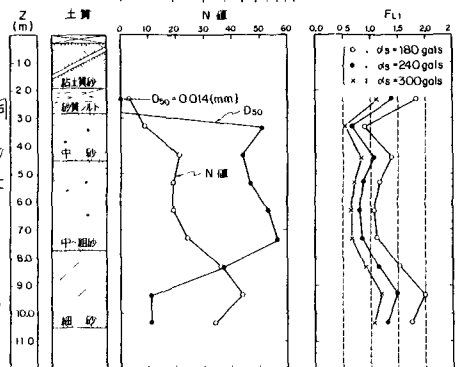


図-8 液状化の簡易判定結果(岡上上地区, Y-2)

図-9は内上大橋の橋脚に沿った4箇所(下流15m)での計算結果であるが、同地点この間は動的強度試験の結果を用い、土は重複反射法による応答計算(構水ダム軸方向の記録波形を180galとして仮構基礎より入力)より求められている。

これらの結果から、中村地区(N-1)では $\alpha_s = 180gal$ で $F_L > 1.0$, $\alpha_s = 240gal$ で $\alpha = 5 \sim 6m$ 迄 $F_L < 1.0$ となること、内上上地区ではY-3(被害地帯)とY-4(無被害地帯)で差異の見られることがわかる。また、内上大橋ではB-1, B-2, B-3で $F_L < 1.0$ となり、噴砂現象と対応している。B-5では地表面における噴砂は確認されたが、液状化があったものと推察される。

3 液状化の判定に関する検討

1) 液状化抵抗係数(F_L)および液状化抵抗指数(R_L)

土木研究所では砂質土層の液状化判定指標として F_L および R_L を提案しているが^{(4),(5)}宮城県沖地震ではこれらの指標がどのような意味を持つか検討した。まず、地盤柱状図(N値)の得られている液状化地帯(16点)と非液状化地帯(12点)を選び、 F_L の計算を行った。 F_L の計算は(2), (3)式により推算した。震度 α_s は各地帯の震央距離に応じて推定した。また、 D_{50} の不明なものも土質柱状図より推定した。図-10はこれらの F_L 値の深度分布を示したものである。図中・印は液状化地帯と液状化したと推定される土層の結果があるが、ここでは、10m以下の飽和砂質土層で平均粒径 $D_{50} = 0.02 \sim 20mm$, N 値 ≤ 10 を液状化層と推定した。図-10では液状化層と非液状化層の F_L 値が混在してその差異が明らかでないため、両層の F_L 値の頻度分布を描いたのが図-11である。対象としたのは $\alpha = 0 \sim 10m$ の F_L 値である。同図より、上記の定義による液状化層と F_L 値との対応が良好であること、液状化層と非液状化層との間に F_L 値の分布パターンに差異があることがわかる。

次に、上記の液状化地帯および非液状化地帯で得られた F_L 値から、(4)式で定義される R_L を計算した。 R_L は土層全体に関する液状化程度を示す指標であり、 R_L 値が大きいほど液状化しやすい地盤である。

$$R_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot W(z) dz \quad \text{----- (4)}$$

ここに $W(z)$: 重み関数 ($= 10 - 0.5z$)

図-12は液状化地帯および非液状化地帯について R_L の度数分布、累積度数分布をまとめた図である。また、図-13は従来の結果⁽⁵⁾と図-12の結果を統合したものである。同図より、 R_L 値による液状化、非液状化の区分が可能となるように思われる。たとえば、 $R_L = 10$ を液状化と非液状化の判定の境界とすると、液状化ならば非液状化と判定される地帯は約30%程度であり、地方、非液状化区ありならば液状化すると判定される地帯は約20%程度であるということになる。

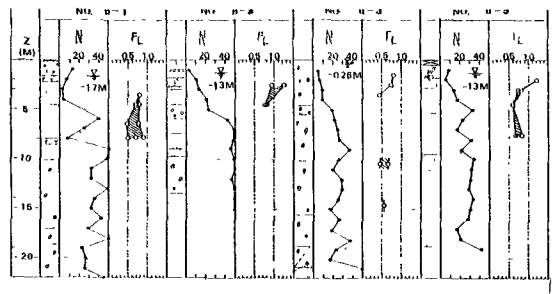


図-9 液状化の詳細判定結果(内上大橋)

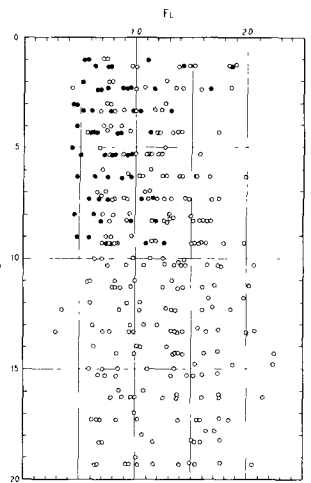


図-10 液状化および非液状化地帯での F_L 値分布

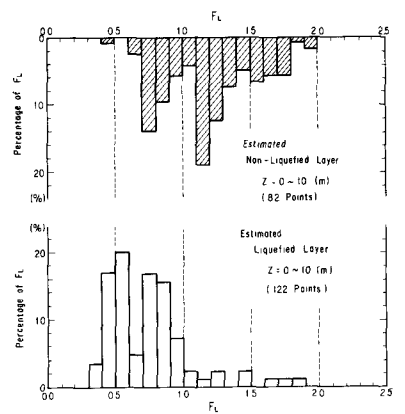


図-11 液状化層および非液状化層での F_L の頻度分布

地盤耐震地図の作成基準

区分	判断基準
(A) 流動化する可能性の高い地域 (詳細な調査が必要な地域)	<ul style="list-style-type: none"> 旧河道・現河道・砂丘間低地(地下水位の高いところ) 水田・河川敷や旧水面上の(高い)盛土地・埋立地
(B) 流動化する可能性のある地域 (簡易な調査が必要な地域)	<ul style="list-style-type: none"> (A) でも (C) でもない地域
(C) 流動化する可能性の低い地域	<ul style="list-style-type: none"> 台地・山地

表-1 地盤の耐震地図の作成基準

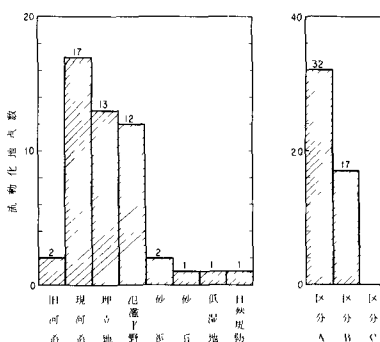


図-14 宮城県沖地震における液状化地盤の微地形分類および耐震地図作成基準の適用

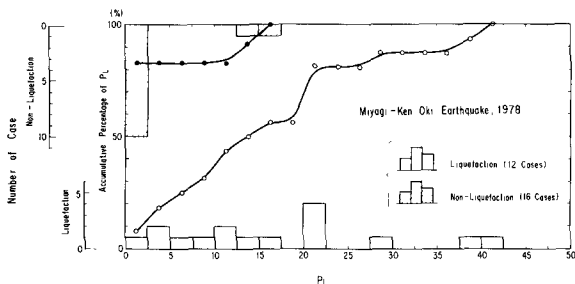


図-12 流動化地盤および非流動化地盤でのPLの頻度分布(宮城県沖地震)

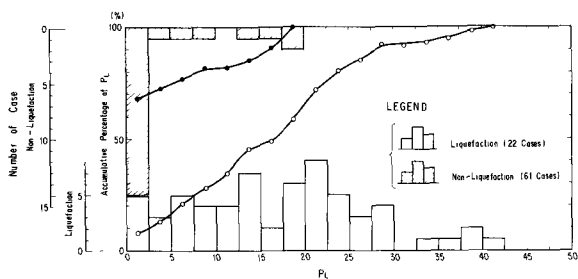


図-13 液状化地盤および非液状化地盤でのPLの頻度分布(一括)

2) 地盤耐震地図

筆者らは微地形分類に基づくマクロな地盤液状化の判定基準を提案してきたが(表-1参照), 今回の地震での流動化地盤の微地形分類上の特徴および表-1の判定基準の適用・妥当性について検討を行った。図-14はその結果を示すものであるが、微地形分類上、現河道、埋立地、氾濫平野に液状化の大部分が発生していることがわかる。また、表-1の基準に依ると液状化地盤の65%が区分A、35%が区分Bに該当することになる。なお、図-14作成に際して同一地点で何箇所か噴砂がある場合はすべて度数の対象としている。

図-14 宮城県沖地震における液状化地盤の微地形分類および耐震地図作成基準の適用

4 まとめ

- 1) 今回の地震では液状化発生の限界震央距離に位置する地盤に液状化(噴砂)がみられた。
- 2) 液状化(噴砂)規模は局部的・小規模であり、必ずしも構造物の被害を誘発してはいない。
- 3) 液状化抵抗係数(F_L)と液状化現象との対応は良く、液状化の判定のための一つの指標として用い得るものである。
- 4) 液状化抵抗指数(P_L)により、液状化地盤、非液状化地盤の判定を行つたことも可能である。
- 5) 液状化地盤は微地形分類上、現河道、埋立地、氾濫平野に大部分が集中している。
- 6) 地盤の耐震地図作成基準(表-1)に依れば、液状化地盤の65%が区分A、35%が区分Bに相当している。

おとどき 中村地区および岡上地区における地盤の耐震性調査、液状化地盤・非液状化地盤での F_L , P_L の検討調査は昭和57年度特別研究促進調査費に依り実施した。また、現地調査を実施するに際して、東北地方建設局の本局と仙台工事事務所および宮城県の方々に多大な御協力を得た。関係者各位に謝意を表します。

《参考文献》

(1) 土木研究所 1978年6月宮城県沖地震被害調査速報, 土木技術資料, Vol. 20 (4)岩崎龍岡 地盤液状化の判定法, 土木技術資料, Vol. 20, No. 4
 (2) 岩崎龍岡 1978年6月宮城県沖地震被害調査速報, 土木技術資料, No. 1422号, 1978.10(3)岩崎龍岡 所有地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例, 5th JEEES
 (3) 原林隆岡 明石以降の本邦の地盤液状化履歴, 土木技術資料, No. 30号, 1964.12(6)岩崎龍岡, 液状化履歴地盤の地盤特性(その2), 才田回土木学会, 1979