

1. まえがき

「仙台湾地区」は宮城県の 臨海部における 新産業都市の 中枢部にあたっており、この地区の開発は工業開発を主と して進められている。

現在ならびに将来の計画としては,仙台,塩釜地区には 掘込み式の港湾,仙台工業港などを建設し,さらに石巻地 区には石巻工業港を建設整備し,これらの背後に工業地帯 を形成して,「仙台湾地区」を東北地方における一大開発 拠点とする構想が計画されている。

これらの開発の基礎調査としては,経済圏調査,自然条 件調査など各種の調査が行われ,特に港湾建設の基礎的な 地質調査としては,多数のボーリングや室内土質試験が石 巻港区,塩釜港区,仙台港区で行われている¹¹(図一1)。 これらの既往の調査資料に加え,上記港区付近での他の諸 機関でなされた地質調査資料を収集,整理し,解析を行い, 仙台湾沿岸地盤の土質工学的特性としてとりまとめ,以下 に報告するものである。

2. 地層および基盤岩の概況

2.1 地層構成

石巻港区を構成する地層は表一1(A)に示すように,第三 彩精世の広淵層を基盤岩とし,その上に第四紀洪積世の 蛇田層と沖積世の釜層,雲雀野層が堆積している。

石巻港周辺の陸域部では,砂丘堆積物である雲雀野層が 厚く分布しており,砂丘の内陸側に分布している中華層と 若ちかた 沼向層は見られない。雲雀野層の下位は,砂質土と粘性土 の互層からなる釜層で,海域部では釜層が海底面から分布 している²⁰。 釜層は四つの粘性土層と五つの砂質土層に細 分される。最上位の15~20m は均質な粘土からなるが, この下位は砂質土と粘性土の互層で,陸域部では砂質土が 優勢で,海域部では粘性土が優勢となっている。蛇田層は 標高-75m以深の埋没谷間に分布し,砂礫を主体としてい るが,一部に硬質粘土と砂質土が堆積している。基盤岩で ある広淵層は,泥岩や凝灰岩などを主体とした堆積岩であ る。



塩釜港区は表-1(B)に示すように、埋立層、沖積層、基 盤岩で構成され、最上位の埋立層は塩釜港を整備した際の 埋立土であり、塩釜港周辺に分布する凝灰岩類を主とした 岩屑が主体である³⁰。沖積層は、内湾性特有の軟弱な粘性 土を主体としており、沖積層は起伏の多い基盤岩を覆って いる。特に深い谷部では砂や礫を多く含み、やや硬い粘性 土が多く、一部に砂質土や砂礫も薄く挟在している。基盤 岩は、第三紀中新世松島湾層群で、凝灰質岩石が主体であ る³⁰。

仙台港区は表-1(C)のような構成となっており,第三紀 中新世の堆積岩を基盤とし,これを覆って厚く沖積世の堆 積物が分布している。沖積層は砂質土,粘性土,砂礫が互 層を形成し,最上位は海浜性の砂質土であり,層厚は陸域 部で厚く最大20mに達するが,沖側に向かうにつれてしだ いに薄くなり,1m未満の厚さとなる。

沖積層は全体に砂質土が優勢であり,粘性土と砂礫を1 ~5m程度の厚さで数層挟んでいる。基盤岩は第三紀中新 世松島湾層群の堆積岩類であり,仙台港付近では凝灰岩や 凝灰質シルト岩および同質砂岩が多く見られる⁴⁾。

2.2 基盤岩等高線

今回,多くの資料により基盤岩等高線を得ることができた。なお,図化に際しては,正確を期すために調査密度の高い部分を取り上げた。

石巻港区の基盤岩等高線は,基本的には地質構造を反映 し、第三紀層よりなる日和山丘陵ならびに牧山一帯の高ま

^{*}東北工業大学助教授 工学部土木工学科 **中央開発锑 東北支店調査部長

^{***}応用地質㈱ 仙台支店支店長

No. 1883

							表—1 地	層構成表							
(A) 石卷港区							(B) 塩釜港区 (C) 仙台港区								
地質時代		地層名および記号		層相	地質時代		地層名および記号		層	相	地質時代		地層名および記号		層相
第	沖	雲雀野層	As—6	砂質土		沖	埋立層	В	埋 立 盛	立 土 土	1	第一种	冲 積 沖積層	Ac—5	粘性土
			Ac-4	粘性土	第										腐植土
			As—5	砂質土							第二			As-3	砂質土
	積	釜層	As-4	砂質土	四	積	沖 積 層							Ac-4	粘性土
			Ac-3	粘性土				Ac-2	粘性土	生土				As-2	砂質土
			As-3	砂質土							29	積		Ac-3	粘性土
			Ac-2	粘性土										Ag-2	砂礫
			As-2	砂質土	紀	世							Ac2	粘性土	
紀	世		Ac-1	粘性土							紀	紀世		As—1	砂質土
			As—1	砂質土				Ag	砂	礫				Ac-1	粘性土
	洪 積 世 新 世	蛇田層	Dc	粘性土										Ag—1	砂礫
			Dg	砂礫							箪	第 中 三 新	松島湾	Т	
			Ds	砂質土	第	中					Ξ				基盤岩
第三紀		広 淵 層	Т	基盤 岩	三紀	新世	網尻層	Т	基盤	と 岩	紀	世	▶ 唐 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □		



図-2 石巻港区基盤岩等高線(破線は推定線である)

りがそのまま海底下に延長され、南北方向に尾根が延びて いる。牧山一帯以東は中生代の地層よりなり、北北東~南 南西方向あるいは北東~南西方向の褶曲構造と断裂系を発 達させつつ、石巻市付近で急激に地下に没し、第三紀層は 中生層に不整合に接している。ここでは、中生層と第三紀 層を合わせて基盤岩としているが、上記のような地質構造 を反映した地質区境界は石巻市付近に相当し、石巻市西部 を南北に延びる JR 東日本貨物線付近を境界として、岩盤 等高線は急勾配となっている(図-2)。

塩釜港区の基盤岩は第三紀層よりなり,ほとんど旧地形 を反映した入江状を呈し屈曲が多いのが特徴であるが,現 地形の等高線と岩盤等高線とは非調和的なものが多く,ま た,等高線は密なものが多いことから,旧中小河川による 侵食地形であることが分かる(図-3)。

仙台港区の基盤岩も第三紀層よりなり、地表の露頭は七



図-3 塩釜港区基盤岩等高線



図一4 仙台港区基盤岩等高線

ヶ浜町に認められるのみで,図の大半をなす沖積平坦面下 に深く埋没している。陸上から続く第三紀層の高まりが七 ヶ浜町から南防波堤付近を経て,南北に緩やかな基盤岩等 高線として海底下に分布している。中央航路Ⅱ地区の港口 手前付近には若干の入江地形が認められ,古い七北田川の 蛇行による侵食谷の跡と思われる。また,東側に若干の入 江地形が認められ,これも古い小河川による侵食を示す溺 れ谷地形を示す可能性がある(図-4)。

以上のように、各港区の基盤岩等高線は、複雑な地史を 反映した中生層や第三紀層の地層構造に大きく支配された 形をしており、さらに第四紀の氷河の消長に伴う海進海退 を反映した古い河川の侵食による溺れ谷を所々に発達させ ている^{50,69}。

3. 地盤の土質工学的特性

石巻,塩釜,仙台の3港区について,粘性地盤と砂質地 盤に分けて工学的特性の一般的傾向を述べる。

3.1 粘性地盤の性状

粘土分は土全体の性質に著しい影響を与える。粘土の種 類によっては、少量の粘土分でも大きな塑性指数を示す土 もあれば、その反対の土もある。

このような粘土分が土に与える影響の違いを表すために 活性度(*A*_c)という指数が用いられる。活性度は粘土鉱物

			3	文一 Z 估住良吵力類	
-	分	類		活性度	グループ
非	活 忄	生粘	土	<0.5 0.50~0.75	1 2
普	通	粘	土	0.75~1.25	3
活	性	粘	土	1.25~2.0 >2.0	4 5

表---2 活性度の分類

と堆積の地質学的条件に関係が深く、Skempton (スケン プトン)によって定義され、表-2に示すように五つのグ ループに分類されている⁷⁾。3港区の塑性指数 (I_p)と粘土 含有率 (C_p)の関係を図-5に示した。石巻、仙台港区の 粘性土は $I_p < 60$ で、粒度組成におけるコロイド分 (2µm以 下の粒子)が20~40%のものが多く、堆積粘土の一般的な 活性度 (A_c)である1~2を示している。塩釜港区の粘性 土は、 $I_p > 70$ でコロイド分が50~60%近辺のものが大部分 を占めており、活性度も2~3付近に分布し、石巻、仙台 港区の粘性土に比較して大きな活性度を示している。

塑性指数(I_p)と液性限界(w_L)の関係を表した図-6に よると、3港区とも塑性図上のA線近傍に分布し、石巻、



No. 1883



仙台港区は高塑性で圧縮性が中~大の粘性土,塩釜港区は 高塑性で圧縮性が比較的大きな粘性土とされる。

さらに、液性限界(w_L)と自然含水比(w_n)の関係についてみると、含水比が液性限界に等しいか、それよりも大きな土は乱されると液体状を呈し強度が低下するので、このような土を対象にした工事では、できるだけ土を乱さないような配慮が必要である。図一7に液性限界と自然含水比の関係を示したが、石巻、塩釜港区の粘性土は、 $w_L = w_n$ 線より下側にプロットされる試料が多く、急激に強度が低下しやすい粘性土は少ない。しかし、2割程度の試料は $w_L < w_n$ の状態にあり、強度が低下しやすい性質を有すると考えられる。仙台港区は、 $w_L = w_n$ 線を中心として試料が集まっており、強度が低下しやすい粘性土が多いものと思われる。しかし、強度低下の程度について今後の調



図―9 圧密降伏応力~一軸圧縮強度

査が必要である。

3.

0 石巻港区

土の液性限界は粘土の含有量と有機物の含有量によって 変化する。一般に有機物を含まない土の液性限界は粘土の 含有量が多くなるほど増加し,有機物を含む土では液性限 界の値も大きく,その圧縮性も大きい。

圧縮指数 (C_e) と液性限界 (w_L)の関係を Skempton は $C_e=0.009(w_L-10)$ で示している。3港区の $C_e \geq w_L$ の 関係を図-8に示したが、どの港区とも Skempton の式よ り上側に位置し、一般的な粘性土と比べると圧縮性が大き く、特に塩釜港区で著しい。なお、それぞれの港区の回帰 曲線は図に示すとおりである。

次に, 圧密降伏応力 (pe) と一軸圧縮強度 (qu) の関係に

土と基礎, 37-3 (374)

ついて述べる。正規圧密粘土では圧密降伏応力 (p_e) と非 排水強度 (c_u)の比, すなわち強度増加率 c_u/p は一定で, その値は土質によって異なるとされている。飽和した粘土 の一軸圧縮強度 (q_u)と非排水強度 (c_u)との間には c_u = $q_u/2$ の関係があり, q_u と p_e の比をとればその粘土におけ る c_u/p が推定できる。**図一9**に圧密降伏応力と一軸圧縮 強度の相関を示した。3港区の q_u と p_e の関係は石巻港区 で q_u =0.57· p_e ,塩釜港区で q_u =0.69· p_e ,仙台港区で q_u =0.44· p_e となっている。また、強度増加率 c_u/p は、石巻 港区で 0.28、塩釜港区で 0.34、仙台港区で 0.22 である。 一般に沖積世の粘性土の強度増加率は 0.3 前後の値が標準 とされており、石巻、塩釜港区は一般的な増加率であるが、 仙台港区の粘性土は粘土分の含有が少なく強度増加率が低 いものと考えられる。

以上,3港区の粘性土の性状について述べたが,これら 各港区の背後地の材料供給源と堆積環境,地史を明確に反 映する結果となっている。すなわち,石巻港区は北上川の 両岸に中・古生界などよりなる北上山地とグリーンタフ地 帯の奥羽脊梁山脈,仙台港区は名取川,七北田川がグリー ンタフ地帯,塩釜港区は新第三系丘陵を,それぞれ背後の 材料供給源としている。また石巻,仙台港区は湾でありな がら外洋性の堆積環境をもち,塩釜港区は閉じた湾の堆積 環境を如実に示す性状となっている。

3.2 砂質地盤の性状

砂質地盤の液状化に対する安定性に関してデータを収集 した。対象としたデータは石巻、仙台港区について液状化 の対象とされる深度 20m 以浅, 平均粒径 0.04 ≤ D₅₀ ≤ 0.6 mm の飽和砂層を抽出したものである⁸⁾。 さらに,昭和53 年の宮城県沖地震の際に液状化した地点(石巻港区:釜, 蛇田地区,仙台港区:仙台荒浜,亘理荒浜)のデータをも 含めた。石巻,仙台港区の深度とN値の関係を陸域,海域 部別に図一10に示した。図中の線は相対密度をN値に表し, 地下水位がおよそ地表面下 2~3 mの深さにある 場合 に 200 gal 程度の地震動に対して 液状化が発生するか 否かの 限界N値を,Seed(シード)の方法⁹⁾ により求め描いたも のである。全般的に見れば陸域の砂の方が海域の砂よりも N値が大きい傾向が見られる。なお,液状化の危険性があ るような砂層は比較的少ない。

地盤の液状化の判定においては、土の液状化強度を推定 する必要がある。多くの場合、標準貫入試験のN値と物理 試験による試料の粒度分布などのデータにより推定されて いるが、N値のみでなく有効上載圧 σ_v'、および平均粒径 D₅₀に対する補正を行うのが適切とされている。

ここでは、岩崎・龍岡の方法を用いた¹⁰⁾。彼らは、N値、 σ_{v} より相対密度 D_{r} *を求め、さらに、非排水動的強度 (*RL*)は、振動三軸試験における強度と D_{r} *の既往のデー タの相関性として、 $0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$ に対して下記の基 本式を示した。



No. 1883

$$RL=0.042 \times D_r^* - 0.225 \times \log_{10}\left(\frac{D_{50}}{0.35}\right)$$

ここに,

$$D_r^* = 21 \times \sqrt{\frac{N}{\sigma_{v'} + 0.7}}$$

図-11,図-12は、上式を用いて算出した*Dr**と*RL*の 関係を石巻港区、仙台港区に分け、さらに、宮城県沖地震 の際の液状化した地点の実測値¹¹⁾を加え、陸域、海域別に 示したものである。今回の抽出したデータにおいては、石 巻港区の砂質地盤より仙台港区の砂質地盤が、地震動に対 して比較的安定していることが示されている。

以上,石巻,仙台港区の限られた調査資料をもとに,砂 質地盤の動的液状化強度について検討を加えてみた。

なお,昭和53年6月12日の宮城県沖地震の際,石巻港区 では、岸壁に多数の被害が生じている。特に、中島埠頭、 日和埠頭,潮見埠頭で被害が著しく,矢板式係船岸に法線 のはらみ出しやエプロン部に沈下などが生じ、これらの被 害の主因は液状化現象であったと言われており,被害の発 生した箇所で噴砂の痕跡が見られた。このように石巻港に 発生した被害は、埋立地盤の液状化現象によるもので、埋 立層の厚い区域で被害が多く見られ、液状化の可能性が高 いのは中島埠頭-10m岸壁,日和埠頭-9m岸壁,潮見埠 頭全域の3地域とされる。一方, 仙台港区の被害はほとん どがエプロン舗装の破損であり、岸壁、荷揚場、防波堤な どの本体の破損はなかった12)。このように宮城県沖地震で も液状化はほとんど発生しなかったことから、仙台港区は、 石巻港区に比べると液状化に対する安定性が大きい砂質地 盤と言える。その要因としては、仙台港区では石巻港区で 被害が集中した埋立て式の岸壁がなく、すべて自然地盤を 浚渫した掘込み式の岸壁であるためと考えられる。また石 巻港区に比べると全体的にややN値も高い傾向にあるが,

一部に極端にN値の低い部分もあり,これは後背湿地性堆 積物で細粒分を多く含んでおり,やはり液状化が起こりに くかったものと思われる。

4. あとがき

仙台湾沿岸部の地盤の工学的諸特性として,各港区にお けるボーリング資料から,土質試験データを取りまとめ土 質工学的特性の概要を述べた。これらの資料が各種構造物 の計画,設計,施工の際の参考になれば幸いである。

なお,本報告を行うに当たり貴重な地質調査資料を提供 いただいた関係諸機関ならびに終始御指導を賜わった,東 北大学土木工学科 柳澤栄司教授,運輸省第二港湾建設局 塩釜工事事務所長 林 恒一郎氏,前所長 船越晴世氏, および工事々務所担当各位に深甚なる謝意を表すとともに, データの整理,解析の御協力を得た中央開発㈱東北支店 長谷川 浩氏,東北工業大学 今埜辰郎氏に感謝する次第 である。

参考文献

- 1) 缺土質工学会東北支部:沿岸海洋地盤図作成報告書,運輸省 第二港湾建設局塩釜港工事事務所,1986.
- 2) 滝沢文教・神戸信和・久保和也・秦 光男・寒川 旭・片田 正人:石巻地域の地質,地域地質研究報告 5万分の1図幅, 地質調査所,1984.
- 3) 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川 旭・松野久也:松島 地域の地質,地域地質研究報告 5万分の1図幅,地質調査 所,1982.
- 4) 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一:塩釜地域の地質,地域地質 研究報告 5万分の1図幅,地質調査所,1983.
- 5) 建設省計画局・宮城県編:仙台湾臨海地帯の地盤,都市地盤 調査報告書,第10巻,1965.
- 6)日本海洋学会沿岸海洋研究部編:日本全国沿岸海洋誌,東海 大学出版会,1985.
- 7) ㈱建設産業調査会:土木・建築技術者のための最新軟弱地盤 ハンドブック、第1編 基礎編, 1983.
- 8)日本港湾協会編:港湾の施設の技術上の基準・同解説,運輸 省港湾局監修,1979.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M.: Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Proc. of ASCE, Vol.97, No.SM9, pp.1249~1273, 1971.
- 10) 龍岡文夫・岩崎敏男・常田賢一:N値~有効上載圧~平均粒 径を用いた飽和砂質土の非排水動的強度の簡易推定法,第13 回土質工学研究発表会講演概要集,pp.477~480,1978.
- 11) 邰土木学会編: '78 年宮城県沖地震調査報告書, 1980.
- 12) 宮城県編: '78 宮城県沖地震災害の教訓, 1980.