

新潟地震による港湾構造物の被害と土質の関係

林聡・久保浩一・中瀬明男

運輸省港湾技術研究所

Damage to the Harbour Structures by the Niigata Earthquake with Special Reference to Subsoil Conditions

By S. Hayashi, K. Kubo and A. Nakase

Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transportation, Tokyo

Abstract

It has been widely reported that the damage by the Niigata Earthquake is largely dependent on the subsoil conditions. This report gives the results of detailed subsoil investigation in the harbour area of Niigata. The change in N-value by the earthquake, measured by standard penetration tests, is explained from a consideration of the dilatant and vibrating effect on soil. Some descriptions are made of the liquefaction phenomena of sand and other soil problems encountered in the designing of earthquake-proof structures.

1. 新潟港湾地帯の土質

i) 土質概況

新潟港周辺の地盤は一般に砂地盤であるとされていたが、地震後に水際線付近で集中的に行なわれたボーリング調査によれば、海底表層の砂にはかなりのシルト分の混入が認められた。これらはシルト質砂または砂質シルトと呼ばれるもので、工学的には砂質土と粘性土の中間的なものと思われる。シルト分の混入は海中部に多く、陸上部ではきわめて少ない。新潟港の砂の粒度分析の結果、中央埠頭のもののが最も細かく、シルト分の混入は臨港の砂に最も多い。北、東、南各埠頭および水産物揚場地区では、細砂と中砂が層を異にして存在する。

ii) 地震前後の N 値

地震前の砂の N 値は地区によって異なる。図-1 に示すように T.P. -7m~-15m の間では N 値は深度に対しほぼ直線的に増大し、この増加の割合は N 値の大きい地区ほど大きい。山の下岸壁、県営埠頭、水産物揚場地区は N 値が全般的に大きい。臨港、山の下護岸、信濃川左岸地区の N 値は値自体が小さく、かつ T.P. -8~-10 m 以浅ではほぼ一定となっている。

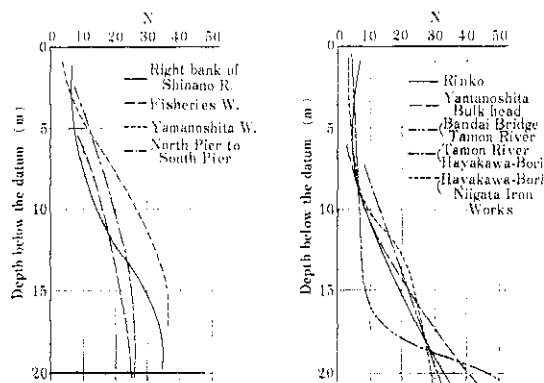


図-1 地震前の平均的 N 値分布
Average distribution of N-value with depth, before the earthquake.

地震による N 値の変化の傾向は 3 種類に区別できる。すなわち、地表近くで N 値が増加し、ある深度以下では逆に減少するもの（臨港、山の下地区）、地表近くで減少してある深度以下で増加しているもの（県営埠頭、水産物揚場、万代島地区）および全般的に減少するもの（信

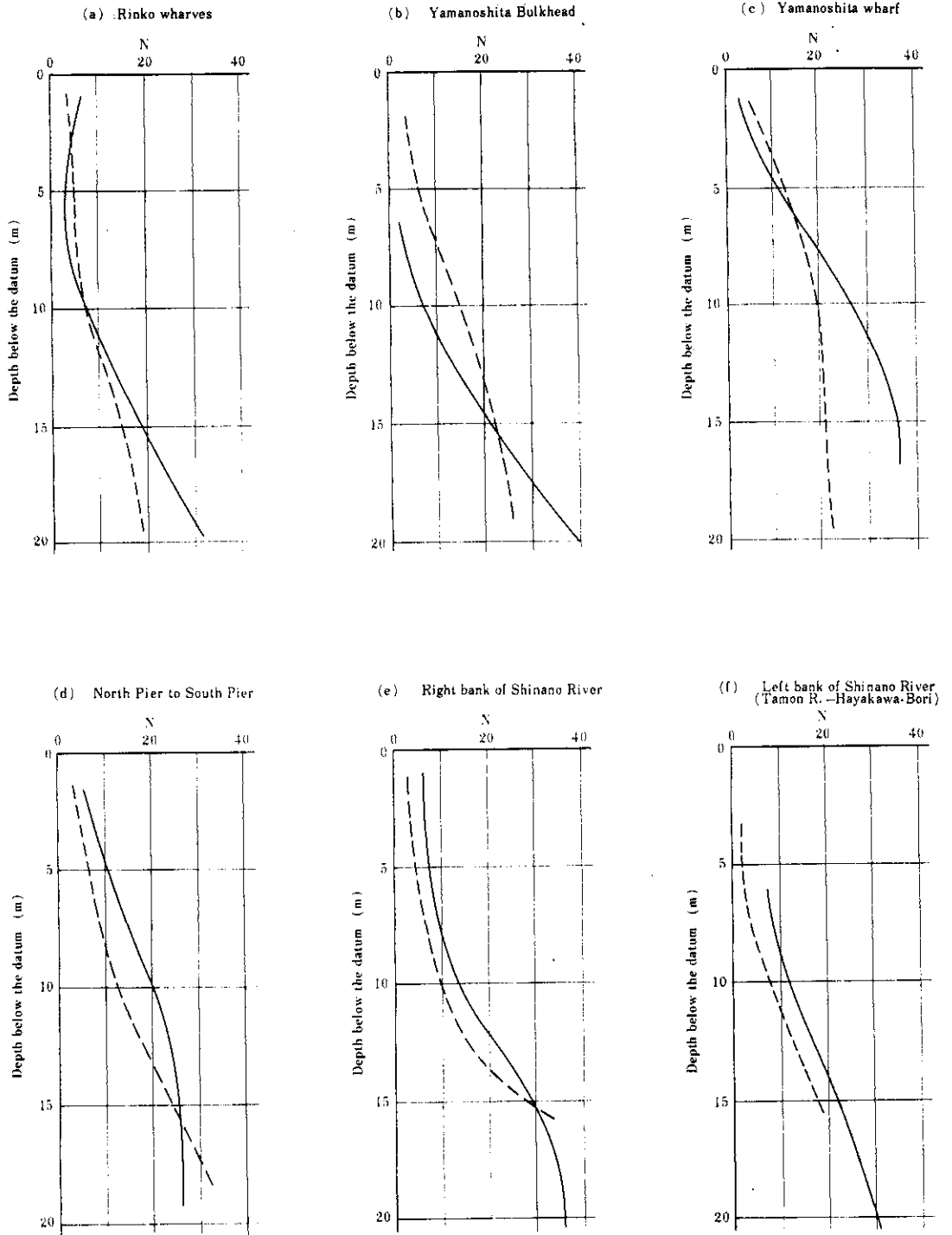
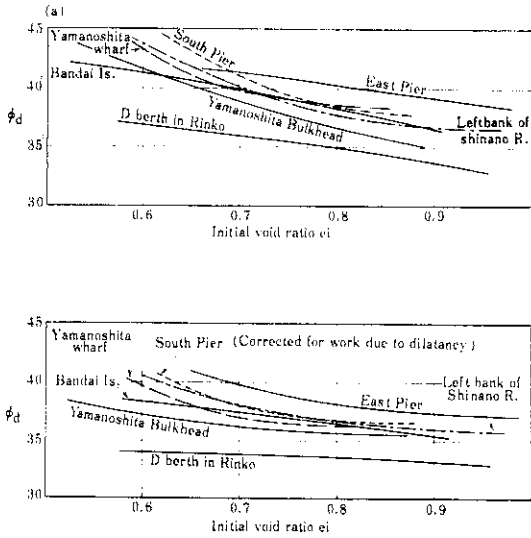


図-2 平均的N値の地震による変化（破線は地震後のN値）
 Change in average distribution of N-value through the earthquake, dashed line representing N-value after the earthquake.

濃川左岸)の3種類である。第1と第2の種類は、砂の振動締め効果とせん断に伴うダイレイタンスーによる密度の減少とで説明することができ、第3のものは全面的な崩壊によるものと思われる。地震前後のN値を図—2に示す。

iii) 内部摩擦角

新潟港内8ヵ所より採取した砂について圧密排水三軸圧縮試験を行なった。その結果は図—3に示すように、

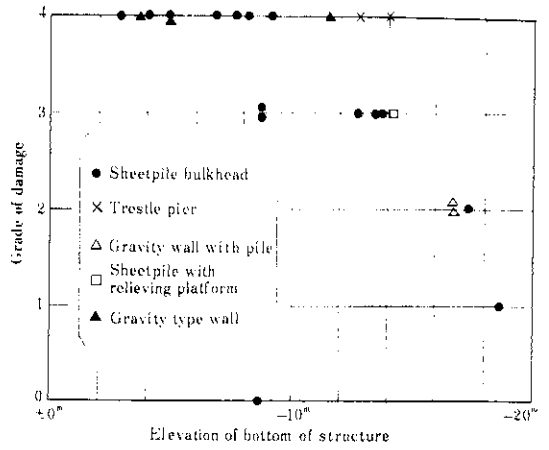


図—3 砂の初期間隙とせん断抵抗角 ϕ_d の関係
Relationship between angle of shearing resistance ϕ_d and initial void ratio of sand.

東埠頭の砂の内部摩擦角が最も大きく、臨港D埠頭の砂の内部摩擦角が最も小さい。地震時に砂の粒子が動きやすくなるものと考えて、エネルギー補正を行なった内部摩擦角の値は、東埠頭で 38° 、臨港D埠頭で 33° 程度である。ただし臨港D埠頭の砂は重油をかぶった形跡があるが、粒子表面に塗布された重油の影響については不明である。

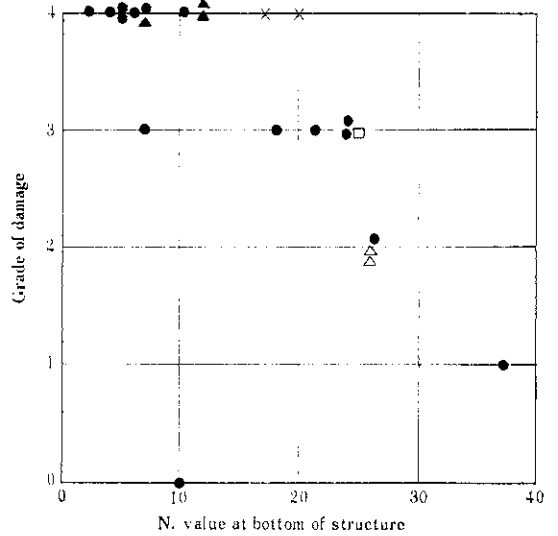
iv) 土質と震害

港湾構造物の震害の程度を、沈下量やせん断変形量の大小で判断すると、震害と土の工学的特性との間にいくらかの相関性が認められる。すなわち震害はN値が小さく内部摩擦角の小さい地区などに著しい。また構造物の方を主体とすると根入部分の下端の深さが大きいものほど震害は少なく、また根入れ部下端のN値の大きいものほど震害が少ない。構造物の震害の程度と構造物下端の標高、および下端におけるN値の関係を図—4に示す。



図—4.1 構造物の根入れ下端深度と被害程度の関係

Relationship between damage and penetration depth of structure.



図—4.2 構造物下端におけるN値と被害程度の関係

Relationship between damage and N-value at the bottom of structure.

2. 土質についての問題点

i) 砂質土と粘性土の動的性質

新潟地震による被害は地盤震害であったと一般にいわれている。このようにいわれるのは、新潟地震において、地盤自体のすべり、沈下、変形などが顕著であり、これに広範囲な噴砂現象をともなったことが原因である。とくに建築物などの被害の多くが、地震の加速度に起因す

る構造的損傷でなく、基礎地盤の崩壊によって起ったものであった点が地盤震害の印象を深くしたものである。このような地盤震害を解明するためには、砂の流動化現象などを含む土の動的な力学特性を知ることが非常に大切になってくる。

これまでに行なわれた研究によれば、地震のように比較的短時間内に加えられる荷重または強制変形に対しては、粘性土の方が砂質土よりも安定であるとされている。すなわち、砂質土においては、地震時に土粒子の配列の変化が、粘性土におけるよりも起りやすく、したがって地震をうけた場合の支持力の減少や土圧の増加の程度は相対的に砂質土の方が大きいと考えられる。

新潟港周辺の地盤は砂地盤である。砂地盤は常時のみを考えれば、地盤改良などをすることなく安全に建造物を建設しうることが多い。新潟の震害は地盤が軟弱だったためとする説がよく聞かれるが、土質工学的に言えば、上述のような砂地盤の動的特性が顕著にあらわれたものと理解すべきであろう。

ii) 砂の流動化

さて砂質土の動的性質の特徴は、粒子の配列変化が容易に生じうるということである。したがって振動を加えられれば容易に縮まり、さらには流動化現象を生ずる。新潟地震の際の流動化は過渡的現象としての流動化であったと考えられる。過渡的な流動化は飽和砂の場合には間ゲキ水圧の一時的増加という現象が特徴であり、したがって砂の透水性が流動化の難易に大に関係する。透水性の低い細砂の方が低い加速度で流動化するのである。過渡的な流動化に対して定常的な流動化というものも存在する。すなわち加速度の非常に大きな振動を加えると、砂層中にすべり面が発生して流動化の現象を生ずるものと思われる。この流動化は振動の続くかぎり定常的に続くものであって、乾燥砂の流動化もこれと同様な機構によるものと考えてよい。このような流動化を生ずるための振動の加速度は、上に述べた過渡的な流動化の場合に比してはるかに大きく、実際の耐震設計においては考える必要はないと思われる。

上に述べた過渡的な流動化は細砂が飽和した状態にあり、かつ地下水面上の土かぶり小さい場合に最も起りやすい。新潟では、地盤沈下のためいわゆるゼロメートル地帯が広く存在し、流動化に適した条件をつくりだしていたといえよう。

iii) 砂の内部摩擦角

砂の内部摩擦角については、まずその測定自身に問題点がある。一般に砂のセン断試験においては、供試体の

作成の技術に高度の熟練を要するが、さらに使用する試験機の種類によっても、内部摩擦角の値は異なってくるのが普通である。1. iii) 章に示した砂の内部摩擦角は、三軸圧縮試験によるものであるが、普通の一面セン断試験機を用いて試験を行なえば、砂の間ゲキ比の減少とともに、測定される内部摩擦角は急激に増大し、 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ となることも珍らしくない。そのため、一般に砂のセン断試験には、三軸圧縮試験機を使用することが望ましいとされている。

次に、測定された内部摩擦角を安定計算に用いるさいに、ダイレイタンスの影響を如何に見込むかについて問題がある。ダイレイタンスとはセン断の進行にともなう生ずる土の体積変化のことで、砂の場合にはセン断にともなう、体積が増加するのが普通である。何らかの拘束があってこの体積変化が妨げられれば、その拘束力は土のセン断抵抗の増加として現われてくる。実際問題において、この拘束の度合、すなわち体積変化を妨げることになるセン断抵抗の増し分を如何に見込むかは、未だ解決されていない。ただし、地震の場合は、前にも述べたように粒子の移動が容易に行なわれうるので、ダイレイタンスのための増し分を見込む必要はないと思われる。

新潟港の各地区の砂の三軸圧縮試験結果によれば、臨港のものを除き、いずれも 35° 以上の値となっている。一方建造物の復旧設計計算においては、現位置の標準貫入試験結果より推定した内部摩擦角が用いられたが、これらの値は三軸圧縮試験結果によるものより小さくなっている。このことは新潟港の建造物にかぎらず湾内建造物の設計において一般にいえることで、これは設計における不確定要素を補うための手段の一つと考えてよからう。前に述べたダイレイタンスの影響も含めて、設計にどのような砂の内部摩擦角を用いるべきかの研究を進める必要が痛感される。

iv) N 値

砂の力学的特性を測定する手段としての標準貫入試験は、原位置試験という利点はあるが、反面測定値のばらつき大きいこと、設計に採用すべき強度常数の推定法が確定されていないなどの難点がある。これらの点を改良するための研究が必要であるが、また標準貫入試験にかわる砂質土の原位置試験方法を開発することも望まれる。

参 考 文 献

Soil and Foundation; "DAMAGE TO HARBOUR

新潟地震による港湾構造物の被害と土質の関係 一林・久保・中瀬

STRUCTURES BY THE NIIGATA EARTHQUAKE",
by Satoshi Hayashi, Koichi Kubo and Akio Nakase.
運輸省港湾局，港湾技術研究所，第一港湾建設局：

“新潟地震港湾被害報告” 第一部 39年9月，
“ ” 第二部 40年3月。