

飽和条件の変化に伴う細砂地盤のN値変化

佐藤正勝*
古川昭夫**
北爪 牧***

1. はじめに

砂地盤のN値を支配する地盤の側の因子として、地下水の状態が関わっていることは古くから指摘されてきた。そのうち地下水面の位置とも関係する有効土被り圧とN値の関係については多くの研究が積み重ねられ、定量的な提案も数多くなされている。これらの提案は、有効土被り圧の上昇に伴いN値が相関性をもって上昇するという大枠ではほぼ一致している。

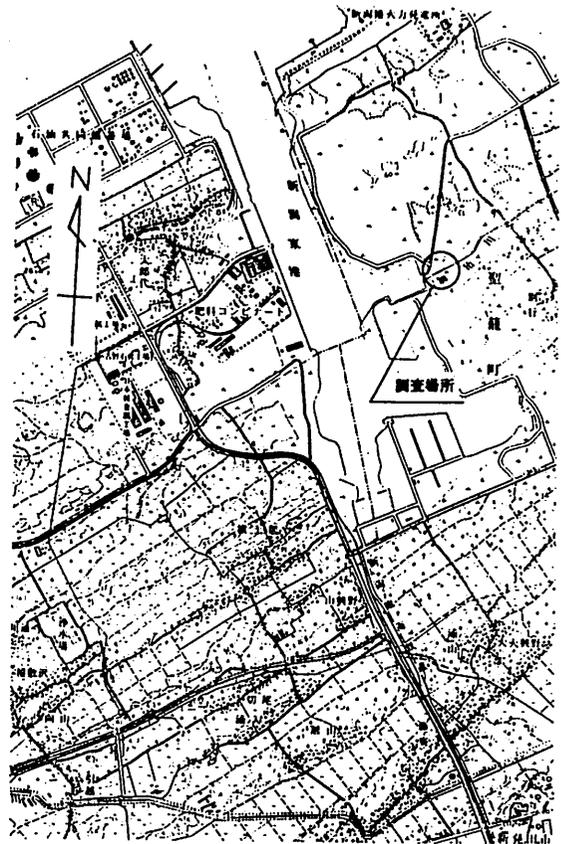
しかし、砂地盤が飽和状態におかれた場合と不飽和状態におかれた場合のN値に及ぼす差については、バザーラ、ギブス・ホルツ、テルツァーギ・ベックらの指摘があるが、結論は一致していない。

筆者らは、新潟平野の新时期砂丘に区分される細砂地盤で、地下水低下前後のN値を比較検討する機会を得たので、その結果を報告し会員諸兄の討論をお願いする次第です。

試験地は、運輸省第一港湾建設局が東港に建設した“ドライドック”地内である。“ドライドック”は信濃川下流部に建設が進められている沈埋トンネルの本体となる“沈埋函”を建設するための施設として、港湾の隣接域を広さ84,000平方米、深さ12米にわたって開削して造成されている。

本報告に当たって、調査データの公表を快く了解いただいた運輸省第一港湾建設局の関係者のみなさま、調査結果の検討に当たり有益なご討論をいただき酒井建設専門官・高野技官に心よりお礼申し上げます。

図-1 調査地案内図



* 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所 第三工事課係長
** 明治コンサルタント株式会社新潟支店 地質課長
*** 明治コンサルタント株式会社新潟支店 地質課

2. 地盤構成

試験地は深度40m付近まで新期砂丘に対比される細砂層が連続する。

“ドライドック”の造成前に実施された調査ボーリング結果を詳細に検討した結果、この細砂層は層相により表層から順にS1～S3層に区分される。試験地の縦横断方向の地盤構成を図に示す。

“ドライドック”は上記区分の3層のうち主に表層のS1層を開削して造成されている。開削に先立ち、“ドライドック”周縁は深さ44mの遮水壁で完全に止水されているため、開削前の地下水位は概ね標高0m付近に連続していたものが、開削後の人工排水により、“ドライドック”域内の水位は標高-13m付近まで低下した。

3. 試験結果

“ドライドック”開削前の調査ボーリングは11箇所で行われ、その全孔で標準貫入試験が実施されている。

開削が完了し、地下水低下が発生してから約2カ月経過した時点で、N値の変化を確認する目的で3-1地点において深度27mの調査ボーリングを実施した。

地下水低下後のN値と、3-1地点に近接する62-7地点の地下水低下前のN値を同じ深度分布図上に重ね合わせ図に示す。

この図によると、深度7m、16mの値を除くと、地下水低下後のN値グラフは全般に相似形を保ちながら、高い値の側に移行していることが読み取れる。

このうち深度7m、8mの試験はS1層とS2層の層境界に相当し、3-1地点と62-7地点で層区分が異っている。また3-1地点の深度16mの試験では、62-7地点で未確認の有機質土層が確認されている。従って深度7m、8m、16mの試験値は土層の水平変化の影響を受けているものと判断され、以下の検討では除外することとした。

図-2 ボーリング位置図

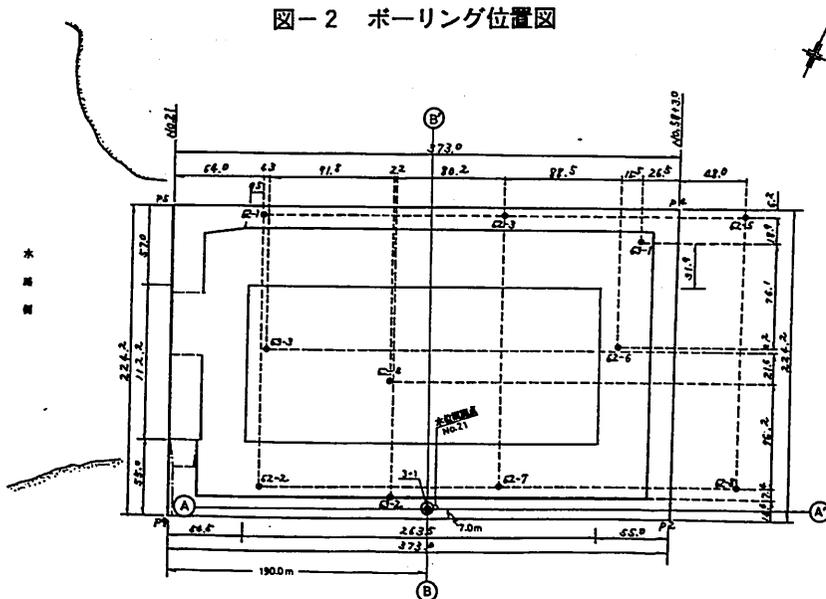


圖-3 A-A'地質断面圖

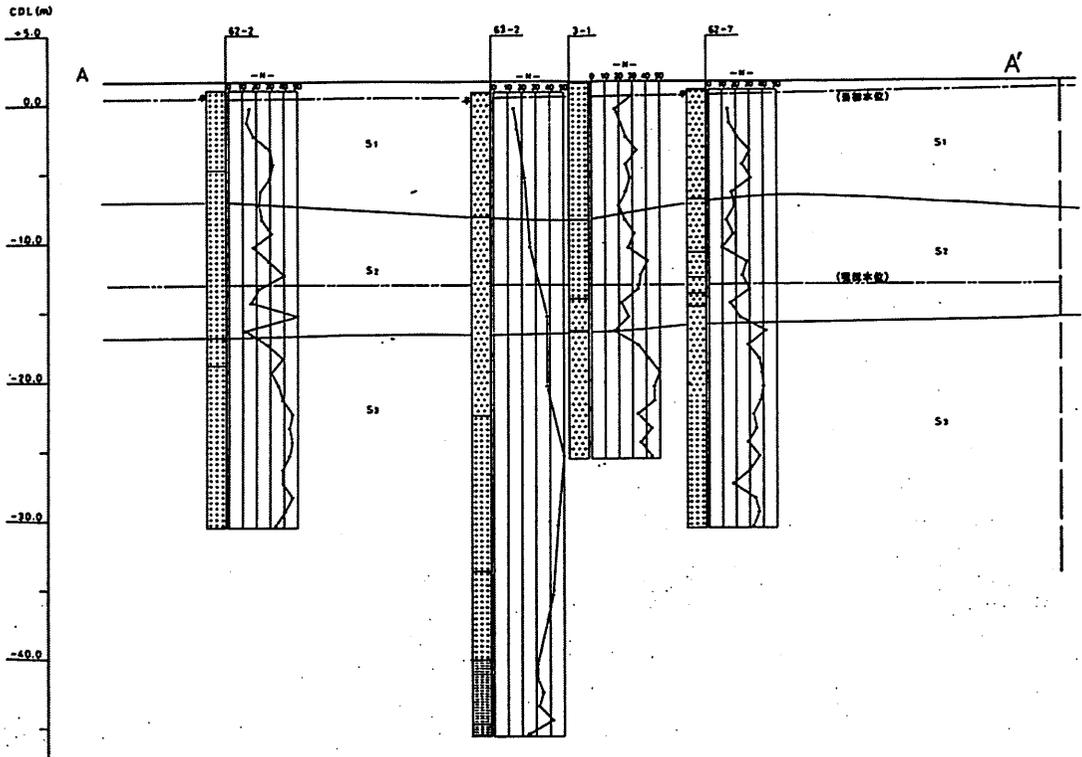


圖-4 B-B'地質断面圖

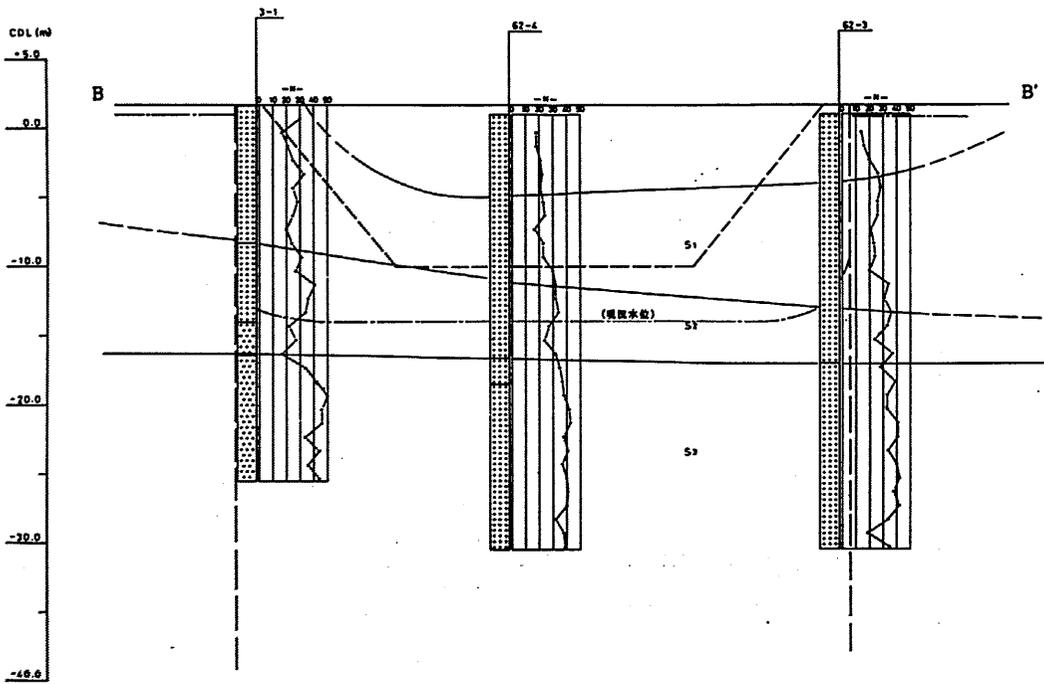


図-5 模式断面図

調査地点の状況を模式的に示すと以下のとおりである。

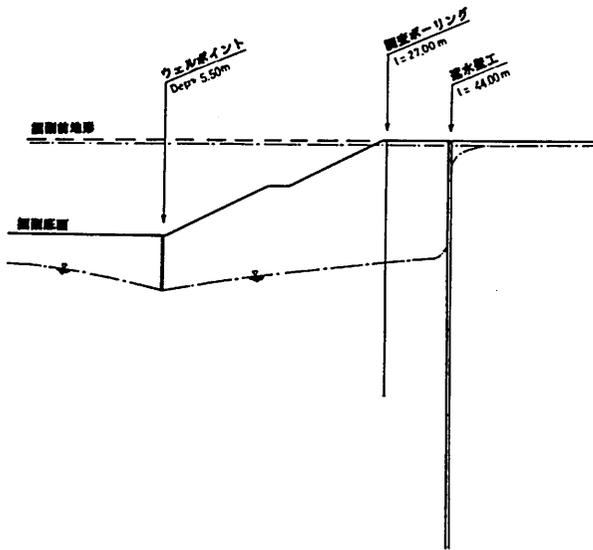
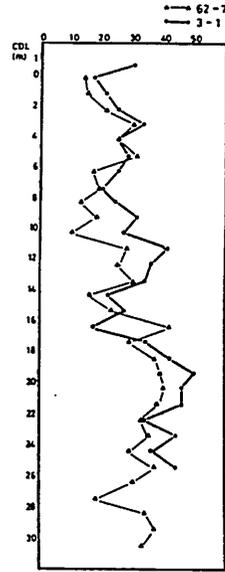


図-6 水位低下前後のN値分布

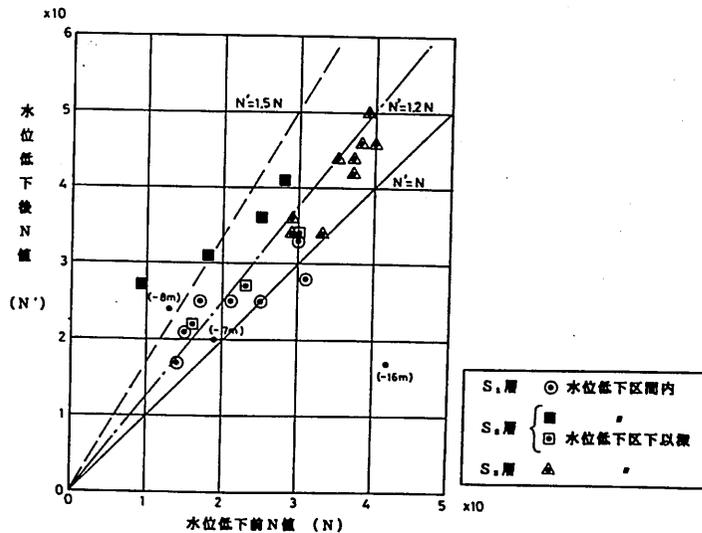


4. N値上昇機構にたいする考察

地下水低下前後のN値変化がどの程度なのかを定量的に見るため、水位低下前N値 (N) と水位低下後N値 (N') を各々X, Y座標上にとり、この座標上に試験値をプロットする。

この図によると、1点を除き他の試験値は全て $N' = N$ の直線より上にプロットされ、概ね $N' = N$ と $N' = 1.5N$ の間に分布する。この結果は、地下水位の低下により各深度のN値がいずれも50%程度の範囲内で増加していることを示している。最大増加率は100%を越えている。なお土層毎の特徴をみると、S2層の水位低下区間で最も増加率が高く30~100%に達するのに対し、他の土層ではほぼ20%程度の増加率に集中する。

図-7 水位低下前後のN値相関



ここで砂地盤のN値を支配する、地盤に関わる因子を整理すると概ね次の4点にまとめられる。

- ① 土粒子の種類及び粒度組成・構造
- ② 相対密度
- ③ 有効土被り圧
- ④ 飽和条件

このうち今回確認されたN値上昇の要因としては、上記③、④が考えられる。②については地下水低下後の経過時間が比較的短いので無視できるものと判断した。

先に述べたように、③とN値の関係については多くの提案ある。バザーラ、ギブス・ホルツ、デ・メロ、柳瀬らのものが代表的なものである。いずれも有効土被り圧の上昇とN値の上昇の相関について提案している。ギブス・ホルツ、デ・メロらの提案では両者の関係はほぼ直線で近似される。

ここで前節で確認したN値上昇と有効土被り圧の関係をみるため、3-1地点の有効土被り圧の変化の深度分布を図に示した。ここでは当初水位をGL-0mと仮定した。これによると、水位の低下に伴い、水位低下区間では深刻に比例して土被り圧が上昇するが、低下水位以下では土被り圧の変化は一定であることがわかる。

図-8 土被り圧分布

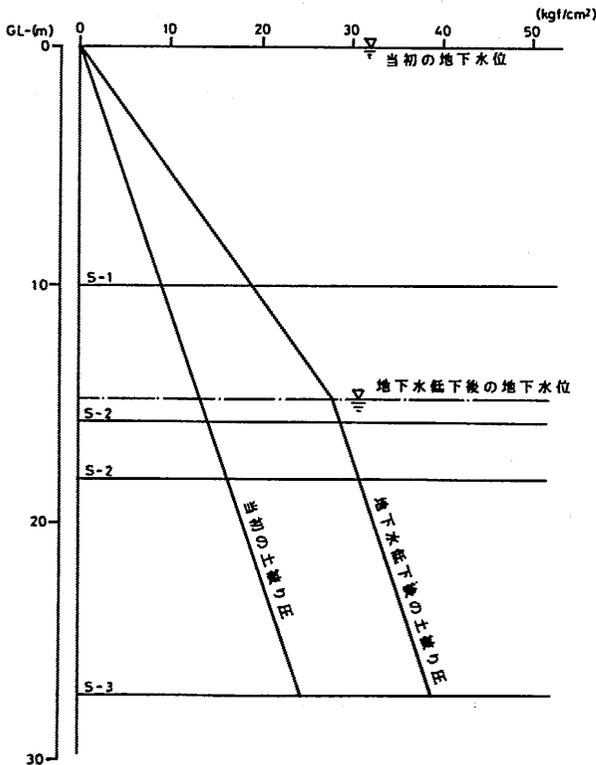
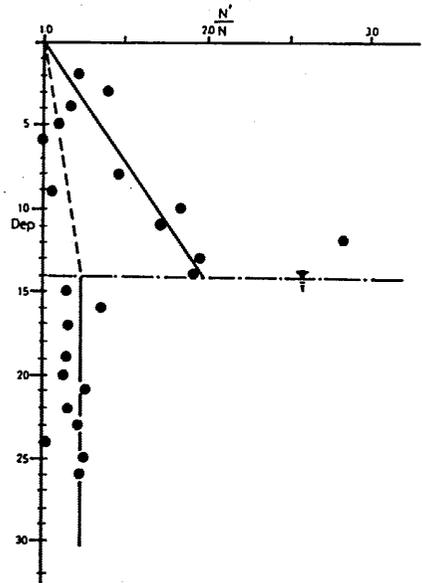


図-9 N'/N



次に (N'/N) の深度分布図をみると、低下水位以深では $N'/N=1.25$ とほぼ一定値を示す。これは土被り圧の変化量の分布に対応する。すなわち今回の試験結果では、水位以下の有効土被り圧はほぼ一定値 (約 15kg f/m^2) 上昇したことにより、 N 値は約 25% 上昇したと判断できる。なお土被り圧と N 値が直線関係にあるとすると、水位低下区間の N 値変化率は図の破線で近似される。

ところで (N'/N) - 深度図によると、水位低下区間の (N'/N) 値はばらつきがあり明瞭な傾向は判別しにくい、おおよそ実線で示した分布傾向が認められる。ここで特記されることは第一に、 (N'/N) 値が水位以下に比べ全般に大きな値を示すことと (最大値は約 2.8)、第二に、 (N'/N) 値の分布が概ね深度に比例した傾向を示すことである。このことは水位低下区間、すなわち飽和から不飽和に条件が変化した区間では、有効土被り圧の増加で説明される以上の N 値増加が発生していることを示している。しかもその増加率は、土被り圧の増加に起因する割合より大きな値である。

上記の検討を総合すると、“ドライドック” 施工による地下水位の低下に伴う N 値増加の機構は以下のように推論される。

- ① 水位低下による有効土被り圧の増加により、低下後の水位以深で約 25% 程度の N 値上昇が発生した。土被り圧の増加は、おおよそ 15kg f/m^2 程度である。
- ② 水位低下区間では、土被り圧の増加から推察される N 値増加を大幅に上回る N 値増加が発生している。これは飽和から不飽和に条件が変化したことに起因している。 N 値の増加率は最大 100~200% である。

5. まとめ

細砂地盤で地下水位低下前後の N 値を比較した一事例を報告した。データ数が限られている、物理試験データが揃っていない等の不十分な条件での検討結果であるが、地下水低下前後の N 値の比に注目すると、水位低下による有効土被り圧の増加に起因する N 値増加を大幅に上回る N 値増加が、飽和から不飽和領域に移行した区間で発生していることが確認された。その増加率が設計上無視できない程度であることが注目される。

① 相対密度との関係、② 粒度組成との関係、③ 不飽和から飽和への移行のケースはどうか、等々未解明の部分が今後に残されている。皆様の討論をお願いする次第です。