

III-366 砂地盤上の浅い基礎の大型支持力実験（その3）

—砂地盤の支持力係数 $N\gamma$ と内部摩擦角の関係と寸法効果—

新日本製鐵（株） ○ 龍田 昌毅
 東京大学生産技術研究所 龍岡 文夫、谷 和夫、森本 励
 建設省土木研究所 岡原美知夫、森 浩樹
 同 上 高木 章次、小幡 宏
 建設省関東地建 小池 信一
 本州四国連絡橋公団 山田 勝彦

1. はじめに

図-1に砂地盤上の帯基礎の支持力係数 $N\gamma$ を予測する方法を示す。この図では土の粒度分布特性、粒子破碎性、上載圧、 K_0 値などの要因を省略している。サンプリングから出発する方法はかなり特殊な大型プロジェクト以外はほとんど行われず、多くの場合は「標準貫入試験による N 値→内部摩擦角 $\phi = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)]_{max} \rightarrow N\gamma$ 」という方法がとられる。 ϕ を介在させる理由は、① $N\gamma \sim \phi$ 関係が理論的に求められている。② ϕ という意味が明瞭な物性を用いることにより、 $N\gamma$ を含めた支持力を求める設計体系に一貫性を持たせ易い、ことが考えられる。

本報告は、「平面ひずみ状態に対する $N\gamma \sim \phi$ 関係」について論じる。この問題は、一見語り尽くされたようであるが、実はその実体が良く分かっていない。すなわち、現在設計で用いられている多くの古典解は次の2点を考慮していない。（1）砂の変形・強度特性は一般に異方的であり、（2）砂地盤の破壊は進行的である。さらに、（3）同一の砂地盤上で基礎幅

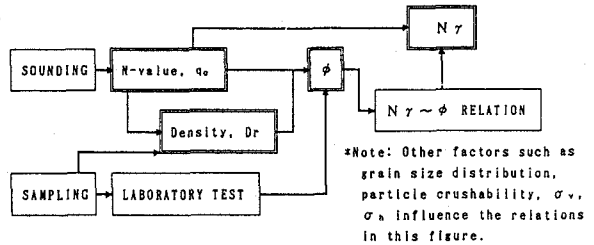


図-1 $N\gamma$ の予測方法

B_0 が増加すると $N\gamma$ が減少するという「寸法効果、Scale Effect」が実験的に確認されているが、そのメカニズムは十分理解されていない。したがって、実際規模での「 $N\gamma$ の値」および「 $N\gamma \sim \phi$ 」関係の推定が難しい。さらに、次の点もこの問題を混乱させている。（4） ϕ の定義が統一されていない。例えば、Meyerhof¹⁾は、一面せん断試験での「 $\phi_{ds} = \arctan(\tau / \sigma_n)_{max}$ 」を用いているが、これは ϕ よりも10～20%小さい²⁾。また、三軸圧縮試験の ϕ と平面ひずみ圧縮試験の ϕ を用いる研究者が混在している。

以上の問題を（その1）、（その2）で述べた $B_0 = 2.3, 5.0$ cmの大型実験および筆者らが過去に行った実験をもとに、空気乾燥豊浦砂を空中落下法で作成した模型地盤と平面ひずみ圧縮試験供試体のデータを用いて論じる。

2. 寸法効果

図-2は、①地球の重力のもと（ $n=1$ ）での $B_0 = 2.5, 5, 10, 23, 50$ cmの支持力実験と、② $B_0 = 1, 2, 3, 4, 5$ cmでの $n=1 \sim 100$ の遠心模型実験による支持力実験の結果³⁾に基づく模式図である。 n = 「鉛直加速度」 / 「地球の重力加速度 = 1 g」である。

寸法効果は次の2つのメカニズムから構成されているものと考えられる。

「圧力レベル効果、Pressure-level Effect」：これは、砂要素の変形・強度特性が圧力レベルに依存することにより起こる寸法効果の要因である。同一の砂地盤で同一の模型

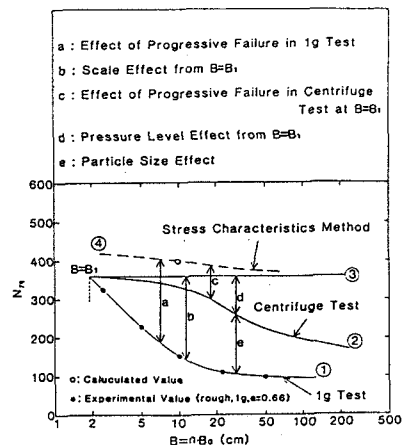


図-2 寸法効果の模式図

基礎幅 B_0 に対する遠心模型実験での鉛直加速度の変化による $N\gamma$ の変化、すなわち、図-2の曲線②と直線③との $N\gamma$ の差が $B=B_1$ （小型の1g模型実験）を基準としたときの圧力レベル効果を表している。

「粒子径効果、Particle-size Effect」あるいは「模型規模効果、Model-size Effect」：これは、粒子径と模型の基礎幅の関係が変化することにより起こる寸法効果の要因である。同一の砂地盤において、同一の $B=nB_0$ における異なった B_0 の間での $N\gamma$ の差、すなわち、同一の $B=nB_0$ に対する「遠心模型実験での $N\gamma$ （曲線②）」と「1g（ $n=1$ ）実験での $N\gamma$ （曲線①）」の差がこの効果を表している。これは、主に、「粒子径に比例するせん断層（Shear Band）の幅」と B_0 が変化することにより、せん断層の発生と発達の様相が変化するためである。

図-2での点○および曲線④は、豊浦砂の ϕ の異方性を考慮して地盤各点での σ_3 に対応する ϕ を用いて応力特性曲線法で求めた「 $B=B_0=10\text{ cm}$ のときの等方剛完全塑性解の $N\gamma$ 」およびそれを基に推定した曲線である。この解では破壊の進行性の影響だけを考慮していない。したがって、同一の B に対して曲線④とそれぞれの実験値（曲線①、②）との差が進行性破壊の影響を表している。

「1g実験での進行性破壊と B の関係」については、次のことが考えられる。

(a) $B(=B_0)$ が小さく、かつ、粒子剛性・強度と比較して圧力レベルが低いときは、砂の圧縮性も小さいので圧力レベル変化の影響は小さく、主に $B(=B_0)$ の増加に伴う粒子径効果の変化、すなわち、「Shear B and幅」/ B_0 の比の変化、によって進行性破壊の程度が大きく変化する。

(b) $B(=B_0)$ が大きく、かつ、「Shear Band幅」/ B_0 の比も十分小さくなったときは、この比の変化の影響は少なく、主に $B(=B_0)$ の変化に伴う圧力レベルの変化によって進行性破壊の程度が大きく変化する。

3. $N\gamma \sim \phi$ 関係

図-3に、等方剛完全塑性解の範囲と、 $\gamma=1.59\text{ (tf/m}^3\text{)}$ （ $e=0.66$ ）のとき1gでの $B_0=2.5, 5, 10, 23, 50\text{ cm}$ のときの $N\gamma$ と次の4種の ϕ の実測関係を示す。① 平面ひずみ圧縮試験での σ_1 方向が堆積面に直交する時（ $\delta=90^\circ$ ）の $\phi_{psc,max}$ ② 平面ひずみ圧縮試験での $\delta=23^\circ$ 付近での最小値 $\phi_{psc,min}$ ③ 三軸圧縮試験での $\delta=90^\circ$ の時の $\phi_{tc,max}$ ④ ねじり単純せん断試験での ϕ_{ds}

これらの ϕ の値は、実測の q_u を σ_1 と仮定して求めた σ_3 に対応している。この結果は、 $B_0>50\text{ cm}$ での実大規模でも次のことが成り立っていることを示唆して2000

- (1) $\phi_{psc,max}$ を等方剛完全塑性解に代入すると、実際の $N\gamma$ を著しく過大評価する。
- (2) $\phi_{tc,max}$ を等方剛完全塑性解に代入すると、実際の $N\gamma$ をやや過大評価する。
- (3) ϕ_{ds} を等方剛完全塑性解に代入すると、実際の $N\gamma$ をやや過少評価する。

4. まとめ

実際の大規模基礎の場合でも破壊の進行性の影響があると思われる。したがって、等方剛完全塑性解を設計に用いるときは、その影響を考慮した適切な方法で評価した ϕ を用いる必要がある。

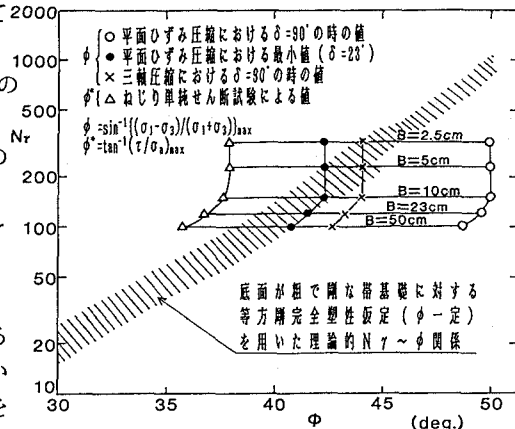


図-3 $N\gamma \sim \phi$ 関係

参考文献： 1) Meyerhof, C.G. (1951); The ultimate bearing capacity of foundation, Geotechnique 2. 2) 龍岡文夫 (1988); 今日における土の室内せん断試験の諸問題、土と基礎、36-9, 5-11. 3) 岡原美知夫・高木章次・森浩樹・小池信一・龍田昌毅・龍岡文夫・森本励 (1988); 浅い基礎の支持力に関する大型2次元実験(その1)、第24回土質工学会、東京。