

建設省土木研究所 正員 岡山義人

1. はじめに

基礎の支持力度、例えば単位面積当りの極限支持力度は、基礎の載荷巾、すなわち基礎の平面寸法によって異なることが支持力理論から知られているし、直径3m程度以下の載荷巾については、載荷試験の結果からも、その事実がある程度判明しているようである。例えば、ある地盤に設けられる基礎幅10mの基礎の極限支持力度が800 t/m^2 であれば、基礎幅を15mとした場合には、1,000 t/m^2 になるというように考えることである。

基礎の平面寸法の多少は、構造物全体の建設コストに大きく影響を及ぼすものであり、特に大型の基礎の場合は、その傾向が著しくなってくる。したがって、支持力に与える基礎の平面寸法効果を適切に把握することは極めて重要なことだといえる。

今回、基礎の平面寸法効果が支持力に及ぼす影響(スケールエフェクト)について、弾塑性支持力論による検討を行なってみたので報告する。

2. 目的

現任、直接基礎等の浅い基礎の設計に当っては、剛塑性理論による極限支持力を採用することが多い。この理論による基礎の平面寸法効果は、その式が与える値の妥当性は別としても、式自身は、かなり簡単明瞭である。しかし、剛塑性理論が与える極限支持力は、基礎寸法によっては我々が経験から学んだ感覚として考えている値をはるかに上回る値を与えることが多く、このため、大型基礎の支持力を推定する上で戸惑うことが多い。一方理論支持力として剛塑性論とは別に、Fröhlichを始めとする弾塑性支持力論がある。しかし、この理論が与える支持力値(限界荷重とか降伏荷重と呼ばれる)は、客観性に乏しく、物理的な意味も剛塑性論による支持力ほど明瞭ではないため、設計レベルで採用されることは少ない。このため、弾塑性支持力論のもつ性質、たとえば、基礎の寸法効果(スケールエフェクト)が及ぼす影響等は、良く知られていないのが実情である。

しかしながら、スケールエフェクトに関しては、先述したように、剛塑性論による検討のみで終ることには、かなり不安感が強い。このため、別の体系で検討してみるのも有意義であると考え。このような理由から、弾塑性論によるスケールエフェクトの検討を行なってみた。

3. 方法

表-1 地盤の条件

弾塑性支持力としては、Fröhlich, Jaropolskij、星望の公式を用い、表-1に示すような地盤条件で、基礎幅が支持力に及ぼす影響を検討した。また、比較のため剛塑性論による対比も行なうこととした。

(1) 地盤条件

表-1に示す4ケースである。

地 質	γ (t/m^3)	C (t/m^2)	ϕ (度)
風化花崗岩	D層	2.30	10
	CL層	2.40	20
	CM層	2.50	50
神戸層	2.00	50	20

(2) 基礎寸法

基礎根入れ $D_f = 25 \text{ m}$, 基礎巾は $B = 10 \text{ m}$, 30 m , 50 m , 70 m の4種類とする。

基礎の奥行き (L) は、一般に $L = \infty$ の帯状基礎とするが、剛塑性論にあっては $L = 70 \text{ m}$ の三次元基礎も併せて考える。

(3) その他の条件

荷重の偏心傾斜はないものとする。また、地下水位は、基礎底面より十分下にあるものとする。

(4) 計算式

検討する計算式を簡単に説明しておく。式中の記号は、以下のとおりである。

q_y : 弾塑性論から定義される降伏荷重 (支持力)、または、限界荷重 (支持力) (t/m^2)

q_u : 剛塑性論より定義される極限支持力 (t/m^2)

C : 地盤の粘着力 (t/m^2)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

D_f : 基礎の根入れ深さ (m)

B : 基礎幅 (m)

(a) Frölich

$$q_y = \frac{\pi (C \cot \phi + \gamma D_f)}{\cot \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} + \gamma D_f \quad \text{-----} \quad (1)$$

塑性域の最大深さ $z_{\max}$ を 0 としたものであり、弾塑性支持力論としては 3 者中最小の q_y になると考えられる。また、この式では q_y は、載荷幅 B に無関係であることが特徴である。

(b) Jaropolskij

$$q_y = \frac{\pi \{ \gamma B \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) + 2C \cot \phi + 2\gamma D_f \}}{2\phi + 2\cot \phi - \pi} + \gamma D_f \quad \text{-----} \quad (2)$$

この式は、塑性域の最大深さ $z_{\max}$ が基礎中心線上にあるものとして導かれたものであり、 q_y の値としては 3 式中最大の値をとるようである。 q_y と基礎幅 B との関係については、 q_y は B の増大に伴って直線的に増大することは明白である。

(c) 星型

星型式は、 $z_{\max}$ として基礎前端から延伸してきた塑性域が基礎中心線上で合致するときの値を q_y としたものであり次式で表わされる。

$$q_y = C\eta_c + \gamma D_f \eta_g + \gamma B \eta_h \quad \text{-----} \quad (3)$$

ここで、

$$\eta_c = \frac{\pi \cos \phi}{\sin 2E_0 - 2E_0 \sin \phi}$$

$$\eta_g = \frac{\pi \sin \phi}{\sin 2E_0 - 2E_0 \sin \phi} + 1 = \eta_c \tan \phi + 1$$

$$\eta_h = \frac{\pi \cot E_0 \sin \phi}{2(\sin 2E_0 - 2E_0 \sin \phi)} = \frac{1}{2} \eta_c \tan \phi \cot E_0$$

$$\left. \begin{array}{l} \eta_c \\ \eta_g \\ \eta_h \end{array} \right\} \text{-----} \quad (4)$$

また E_0 は、次式を満足する角である。

$$\sin \phi = \frac{2(C \cot \phi + \gamma D_f)(1 - \cos 2E_0) \cos 2E_0 + \gamma B \sin 2E_0 (1 + \cos 2E_0)}{2(C \cot \phi + \gamma D_f)(1 - \cos 2E_0) + \gamma B (\sin 2E_0 + 2E_0)} \quad \text{-----} \quad (5)$$

q_y の入きさは、(1)、(2) 式の中間的なものであるが、どちらかというとき (2) 式の値に近いようである。

また、 δ_y と B との関係は、 E_0 自身が B の関数であるため明確には記述できない。

(d) 剛塑性論式

対比のために用いた剛塑性支持力は、次式である。なお、この式は、日本道路協会が採用しているものである。

$$\delta_d = \alpha K C N_c + K \beta N_q + \frac{1}{2} \beta \gamma B \lambda$$

上式は、形状係数 α 、 β を用いて三次元基礎に適用できるようになっているが、式(1)、(2)、(3)と比較する意味では、二次元基礎と考える方が合理的であるので、直接的には、 $L = \infty$ と考えて $\alpha = \beta = 1$ と考える。また K は、基礎根入れに対する割増し係数であるが、これも、 $K = 1$ として比較する。

なお、参考値として三次元基礎を考慮する場合は、 α 、 β 、 K は、次式で求める。

$$\alpha = 1 + 0.3 \frac{B}{L}$$

$$\beta = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

$$K = 1 + 0.3 \frac{D_f}{B}$$

図-1-1

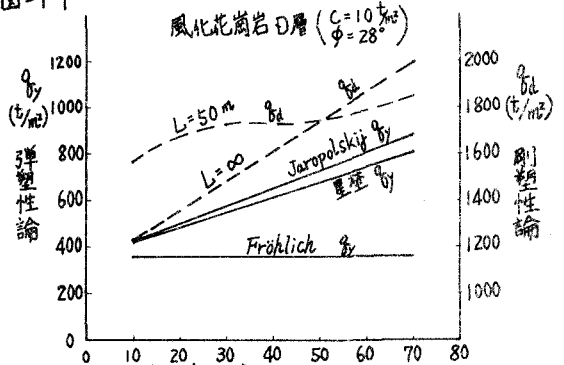


図-1-2

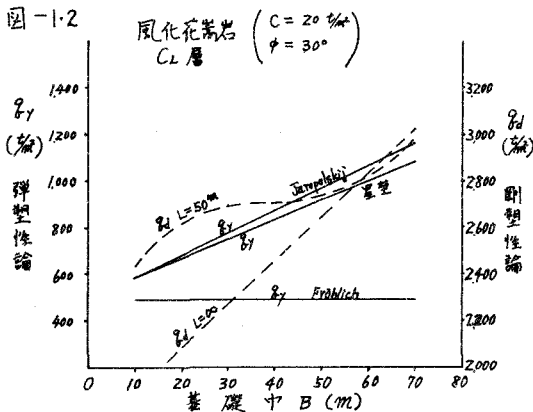


図-1-3

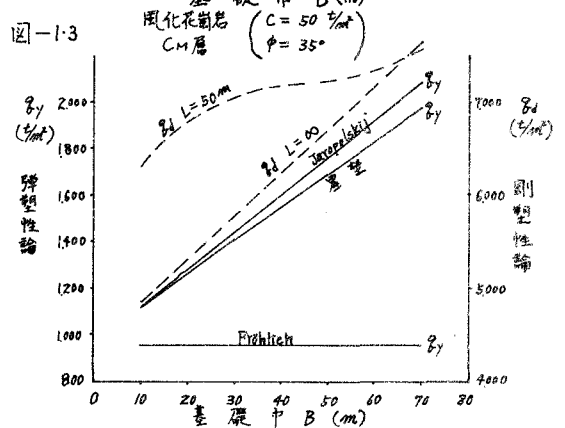


図-1-4

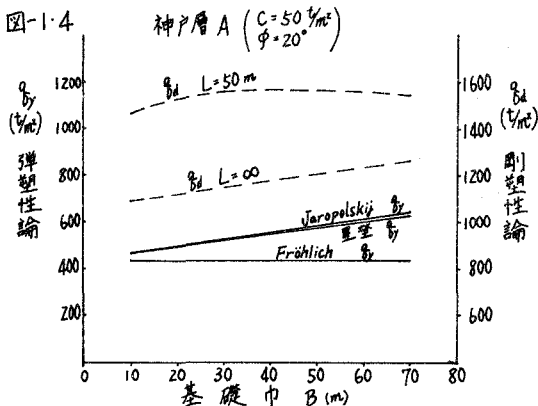


図-2-1

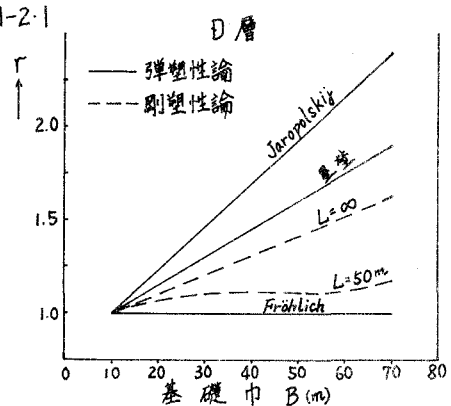


図-2.2

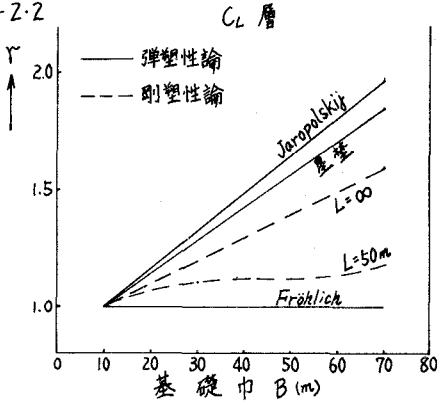


図-2.3

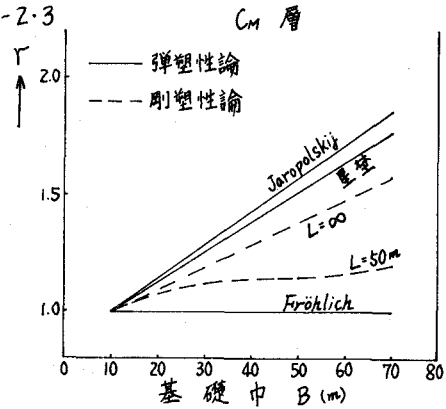


図-2.4

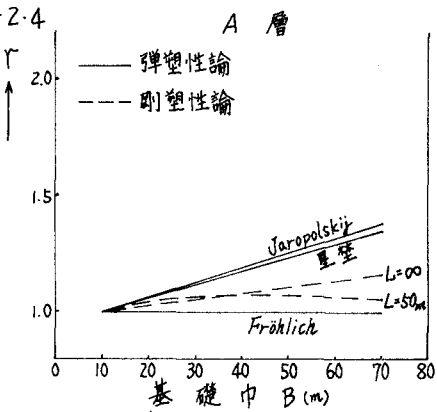
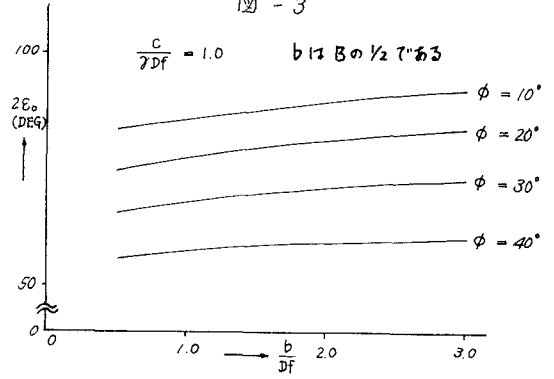


図-3



4. 結果とその考察

3で示した条件のもとに計算した結果を、図-1.1～1.4、および、図-2.1～2.4に示す。前者の図は、計算された δ_y 、および、 δ_y を直接表示したものであり、後者は、 $B=10\text{m}$ のときの δ_y 、 δ_y に対する R を示す。これらの図から次のことがいえようである。

- (1) 弾塑性論で計算される δ_y は、剛塑性論の δ_y に対して星壁で15～45%、Fröhlichで15～30%を示すが、これは、土質常数によってかなり変化し、明確な関係をつかむことは困難である。
- (2) 星壁とJaropolskijは、ほぼ同一傾向を示し、かつ基礎幅が小さければ両者は、ほとんど一致する。
- (3) 星壁式でも δ_y と B は、ほぼ直線関係にあるとみなしうる。これは、図-3に示すように、 E_0 の値が基礎幅によってそれ程変化しないためであろう。
- (4) 基礎幅による効果は、いずれの場合でも弾塑性論による方が大きい。

5. 結論

今回検討した弾塑性式、剛塑性式は、全然別大系の支持力等定式ではあるが、支持力に及ぼす基礎幅の影響を把握する上では必要であつたし、また、弾塑性式の性格もある程度判明させることができた。スケール工左クトに関しては、大略次のことがいえよう。

- 星壁式が与える δ_y は、基礎幅 B に対して、ほぼ直線関係にある。
- スケール工左クトは、弾塑性式（ただし、Fröhlich式は除く）による方が大きな効果を与えるが、帯状基礎として比較すれば、剛塑性論、弾塑性論とも、ほぼ同じような割合であると、密切つてもよさそうである。