

砂地盤上における shell foundations の支持力解析

鹿児島大学工学部○学生員 長濱 大司 鹿児島大学工学部 正会員 山本健太郎
 鹿児島大学大学院 学生員 田畑 賢児 鹿児島大学工学部 正会員 北村 良介

1. はじめに

Shell foundations は 1950 年中期に基礎として初めて用いられた。また、基礎工学における shells の使用は、弱い地盤に対して大きな荷重が作用するケース並びに、風や地震荷重による側面からの大きな力を受ける塔などに対して、世界中において興味を集めた。現在までに、shell foundations が従来の flat foundations と比較して大きな支持力を有し、より小さい沈下特性を示すことが解明されている^{1), 2)}。現時点においては、shell foundations は flat foundations と比較して組み立てることが難しく、施工過程などに関して経済的な問題もあるが、将来的には建設技術の進歩に伴い、利用が増加するものと考えられる。このような見地から、本報告では shell foundations の支持力解析を上界法を用いて行い、Hanna らが行った実験データとの比較を通して^{1), 2)}、本解析手法の有用性並びに shell foundations の支持力特性について検討を行うことを目的としている。

2. 実験概要²⁾

Hanna らは、図-1 に示すような試験装置を用い、foundations としては図-2 に示す 3 種類の基礎形式を採用している。平面ひずみの場合、foundations は幅 160mm、奥行き 160mm となっている。また、土槽タンクの寸法は幅 800mm、高さ 640mm、奥行き 165mm で構成されている。試料は目の細かい high silica sand で、空気圧ハンマーを使用し、緩い、中程度、密な 3 つの状態において試験が行われている。なお、表-1 には Hanna らが行った試験の条件を示す。表中の見かけの粘着成分 c に関しては実験において定義されていないので、緩い、中程度、密な 3 つの状態の地盤に対してそれぞれ妥当と推測される微小な値を用いた。CASE 1~9 は表面載荷のケースで、カッコ内の CASE 10~18 は根入れがあるケースである。

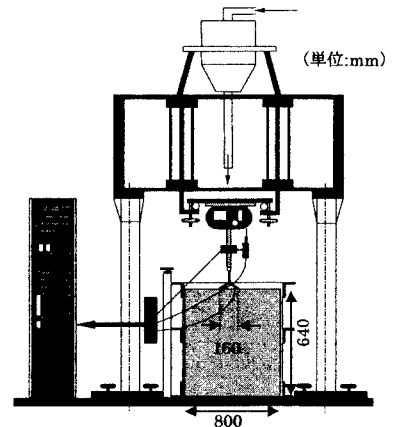


図-1 試験装置

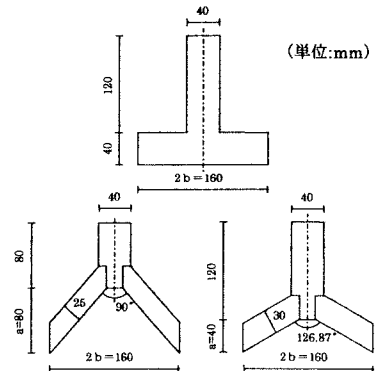


図-2 基礎形式

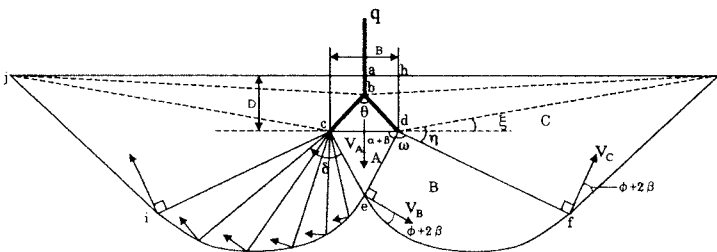


図-3 破壊メカニズム

$$\alpha: \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$$

β : shellsの効果による角度増分

うに設定した。まず基礎荷重を受けると、剛体としてくさび型の領域 A が構成され、鉛直下方に移動し、その速度は基礎と同じ V_A である。そして、このくさびの下方への挙動は、隣り合った領域 B と領域 C の横の動きとして消散される。ここで、領域 B の曲線すべり場は、領域内において常に V_B から $(\phi + 2\beta)$ の角度を構成し、対数らせん領域となる。shell foundations の効果による角度増分 β の設定については、既存研究¹⁾を基に、表面載荷と根入れが有る場合とに分けて、

$$\beta = \frac{1}{240}(180 - \theta) \quad (D/B = 0) \quad \beta = \frac{1}{90}(180 - \theta) \quad (D/B = 0.75)$$

と設定した。このメカニズムにおいて内部消散率と外力仕事率をそれぞれ求め、全内部消散率=全外力仕事率とおくことにより、 q は以下のように表される。

$$\frac{q}{c} = N_c(\beta, \eta) + GN_\gamma(\beta, \eta, \theta, \xi)$$

$$N_c = \cot(\phi + 2\beta) \left\{ \frac{\exp[2\omega \tan(\phi + 2\beta)] \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \beta)}{[1 - \tan \eta \tan(\phi + 2\beta)][1 + \sin(\phi + 2\beta)]} - 1 \right\}$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2\cos^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \beta)} \{h_1(\beta, \theta) + h_2(\beta, \eta, \xi) + h_3(\beta, \eta, \theta, \xi)\}$$

4. 解析結果と考察

N_c, N_γ : 支持力係数 $h_1, h_2, h_3: \beta, \eta, \theta, \xi$ の関数

解析結果と Hanna らの実験値²⁾の比較を表-2, 3 に示す。Hanna らの実験値と比較しておよそ13~17%の誤差を生じた。傾向としては、根入れがある場合と根入れが無い場合のどちらにおいても flat foundations の場合、大きな誤差を生じた。shell foundations の場合には全体的に見ると、比較的精度が良い事がわかる。これらの結果より shell foundations の方の極限支持力が明らかに大きいことが確認できた。さらに解析結果より、shells の効果により増分された支持力は、根入れの無い状態で約 5~12%、根入れがある状態では約 15~35%と、根入れがあると shells の効果がより良くなることもわかった。図-4 には、理論的に求めた shell angle θ と極限支持力 q の関係を示している。図より、shell angle が大きくなるほど極限支持力が小さくなる事がわかる。また、根入れがある場合はない場合と比較して、shell angle の増加に伴う支持力の低下が大きいことがわかる。

5. 終わりに

本報告では、shell foundations に対して上界法を用いた支持力解析を行い、実験データとの比較・検討を行った。解析結果からも shell foundations が従来の flat foundations よりも大きな極限支持力を示すことが示された。また、根入れがある場合は効果がより大きくなる事も認められた。さらに根入れがあり、shell angle θ が小さい基礎ほど大きな極限支持力を発揮すると考えられる。

【参考文献】

- 1) Hanna, A.M. and Abdel-Rahman, M.M: Ultimate Bearing Capacity of Triangular Shell Strip Footing on Sand, J. of Geotech. Eng., ASCE, 116(12): 1851-1863, 1990.
- 2) Hanna, A.M. and Abdel-Rahman, M.M: Experimental Investigation of Shell Foundations on dry Sand, Can. Geotech. J. 35: 847-857, 1998.

表-1 試験条件 ()内は根入れ時のケース

CASE No.	θ (deg.)	ϕ (deg.)	c (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	D/B
CASE 1 (10)	180	33	0.8	16.4	0 (0.75)
CASE 2 (11)	180	37	1.3	17.6	0 (0.75)
CASE 3 (12)	180	40	1.7	18.4	0 (0.75)
CASE 4 (13)	126.87	33	0.8	16.4	0 (0.75)
CASE 5 (14)	126.87	37	1.3	17.6	0 (0.75)
CASE 6 (15)	126.87	40	1.7	18.4	0 (0.75)
CASE 7 (16)	90	33	0.8	16.4	0 (0.75)
CASE 8 (17)	90	37	1.3	17.6	0 (0.75)
CASE 9 (18)	90	40	1.7	18.4	0 (0.75)

表-2 実験値と上界解との比較 (surface foundations: D/B=0)

flat foundations ($\theta=180^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 1	81.3	94.9	16.8
CASE 2	180.2	206.5	14.6
CASE 3	334.8	368.7	10.1
shell foundations ($\theta=126.870^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 4	96.8	99.7	3.0
CASE 5	204.7	218.9	6.9
CASE 6	373.7	393.8	5.4
shell foundations ($\theta=90^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 7	109.8	102.9	-6.3
CASE 8	227.2	227.7	0.2
CASE 9	403.8	412.1	2.1

表-3 実験値と上界解との比較 (embedded foundations: D/B=0.75)

flat foundations ($\theta=180^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 10	188.0	164.3	-12.6
CASE 11	362.4	327.2	-9.7
CASE 12	620.1	554.0	-10.7
shell foundations ($\theta=126.870^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 13	207.9	189.5	-8.8
CASE 14	392.0	383.5	-2.2
CASE 15	659.4	659.5	0.0
shell foundations ($\theta=90^\circ$)			
CASE No.	実験値 q_u (kN/m ²)	上界解 q (kN/m ²)	誤差(%)
CASE 16	222.6	209.5	-5.9
CASE 17	416.6	429.5	3.1
CASE 18	696.8	747.4	7.3

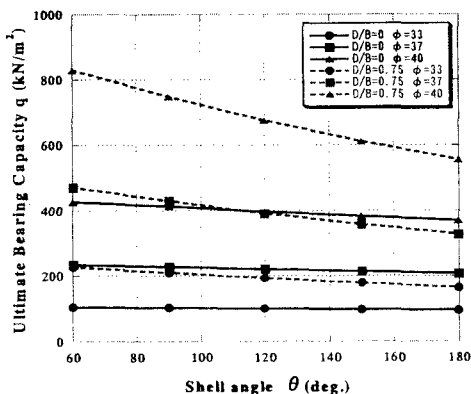


図-4 Shell angle θ と極限支持力 q との関係