

地中連続壁基礎の掘削時の安定に関する考案

細井 武*・長野敏郎**・福田勇治***

地中連続壁基礎の掘削時の安定に関して、内部土塊の崩壊事例に基づく安定解析手法の検討、掘削時に周辺地盤に発生する加速度・間隙水圧の計測および掘削時の安定に影響を与える要因についてのパラメトリックスタディを行った。その結果、内部土塊の安定解析法として、3次元円筒すべり理論による方法が有効であること、掘削時に内部土塊には、外側より大きな過剰間隙水圧が発生し、内部土塊に設けた緩衝孔は過剰間隙水圧の発生を低減するのに有効であること、ガット割りによる内部土塊の安定が大きく影響を受けること等が判明した。

Keywords: enclosed wall foundation, stability analysis, surge pipe

1. まえがき

地中連続壁基礎とは、地中連続壁を基礎本体として利用する基礎形式である。近接施工が可能であること、適用地盤が広いこと、低公害工法であること、剛性・支持力が大きいこと、任意の形状が選択できること等の長所を生かして着実にその施工実績が増加している。

地中連続壁基礎はその利用形態により、単体形式、複合体形式、合成体形式および仮設壁形式の5種類に分類される¹⁾。近年、神奈川県道高速湾岸線横浜市鶴見区大黒埠頭において複数枚の地中連続壁を並行に設置し項版により結合した地中多壁基礎が採用されているが、今までの大部分の地中連続壁基礎は矩形の合成体形式である²⁾。

合成体形式は、地中連続壁のエレメント間の継手を構造継手により一体化し矩形・多角形等の形状に閉合させて上部に頂版を設ける形式である。以下合成体形式の地中連続壁基礎を「連壁基礎」と略記する。

連壁基礎を施工する場合、閉合型地中連続壁の内側に島状の土塊（以下内部土塊と称する）が残置することになる。この内部土塊全体の安定は、溝壁全体の安定および溝壁局所の安定と合わせて連壁基礎の掘削時の重要な問題である。

本論文では、まず連壁基礎の内部土塊の安定解析法について考察する。つぎに連壁基礎掘削時の周辺地盤の挙動について計測し溝壁局所の安定に影響を与える間隙水圧の発生について考察する。また発生した間隙水圧を消散させる方法として緩衝孔の設置を提案しこの効果を計測にて確認する。

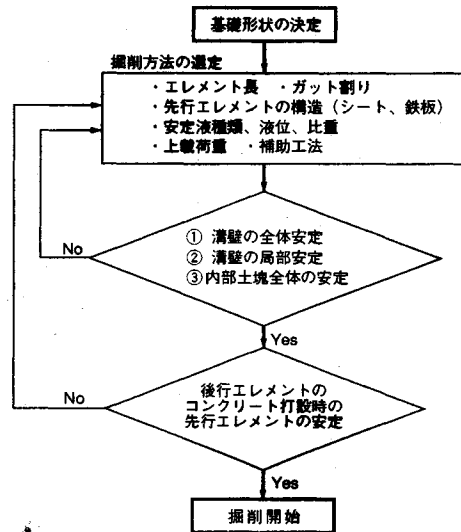


図-1 連壁基礎の施工時の安定問題検討フロー

これらの考察・計測結果に基づき連壁基礎掘削時の安定性を向上させるための対策について検討する。

2. 掘削時の安定問題

連壁基礎の掘削時の安定問題の検討は一般に図-1に示すフロー図に従って行われる。このフロー図に示しているように、連壁基礎掘削時の安定問題として次の3つが重要である。

- ① 溝壁全体の安定
- ② 溝壁局所の安定
- ③ 内部土塊全体の安定

溝壁全体の安定については既往の研究も多く、2次元解析に基づく研究と、3次元解析に基づく研究に大別される。

2次元解析の研究には、Nash et al. (1963), Veder

* 正会員 西松建設(株) 土木設計部 副部長
(〒105 港区虎の門1-20-10)

** 正会員 西松建設(株) 関西支店 北勢田出張所長

*** 正会員 中央復建コンサルタント(株) 調査部次長

(1963), Morgenstern et al. (1965), 浅川ら (1967), Elson (1968) 等がある。2次元解析は連壁の施工順序を考えると実際の施工状態とは異なるため、溝壁全体の安定に関する簡略的な解析法として位置づけられる。

3次元解析の研究には、Schneebeli (1964), A. Piaskowski et al. (1965), 内田ら (1968, 1969)^{3),4)} 大塚ら (1971)⁵⁾, 金谷ら (1984)⁶⁾ 等がある。現在わが国においては、地中連続壁基礎協会において内田ら、大塚ら、金谷らの方法が溝壁全体の安定計算法として採用されている⁷⁾。

以上のように種々の研究提案がなされているが、現段階において十分なデータの蓄積がなく適正な評価がなされていないのが現状である。今後データの蓄積により適正な解析方法が明確にされて行くものと思われる。

溝壁局所の安定に関しては、掘削中に周辺地盤に発生する間隙水圧や振動による局所的な崩壊や、応力開放による軟弱層の部分的な崩壊等に対する安定が対象になるが、現段階では理論的な裏付けが難しい。

内部土塊全体の安定についても確立された解析法が未だないのが現状である。連壁基礎の掘削の進行に伴い内部土塊が周辺地盤から縁を切られ次第に不安定な状態に推移していく。したがって、各掘削段階における内部土塊全体の安定を溝壁の安定とは別に解析する必要がある。この内部土塊の安定解析法として、次の3解析法を考察する。

- ① 3次元円筒滑り理論による方法 (内田ら (1968, 1969) の方法に基づく)
- ② せん断過程における応力経路による方法
- ③ 塑性論の上界定理に基づく極限解析法

3. 内部土塊の安定解析法

内部土塊の安定解析法として上記の3解析法の内容について述べ、内部土塊の崩壊事例に基づきこれらの解析法を評価する。

(1) 3次元円筒滑り理論による方法

崩壊時の滑り土塊の形状を横型円筒状の土塊と考え、この土塊の両側面のせん断抵抗も計算に入れ、円筒に沿うせん断抵抗、安定液圧等による抵抗モーメントと土塊重量、地下水圧、上載荷重等による転倒モーメントとの釣り合いを検討する方法である (図-2 参照)。安定率 F_s は下記の式にて表される。

$$F_s = \frac{\text{抵抗モーメント}}{\text{転倒モーメント}} = \frac{2M_1 + 2M_2 + M_3 + M_4 + M_5}{M_6 + M_7 + M_8}$$

ここに、

M_1 および M_2 : 土の内部摩擦角および粘着力による側面抵抗モーメント

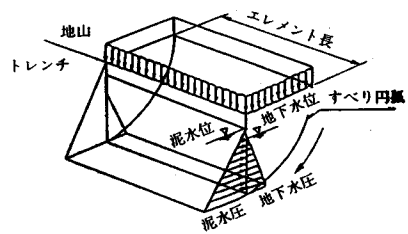


図-2 3次元円筒滑り理論による安定解析

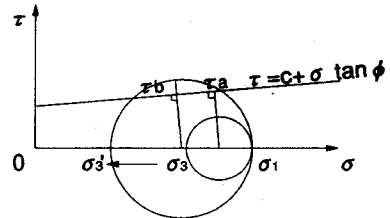


図-3 応力経路による安定解析

M_3 および M_4 : 滑り面に沿う土の内部摩擦角および粘着力による抵抗モーメント

M_5 : 安定液による抵抗モーメント

M_6, M_7 および M_8 :

土塊重量、上載荷重および地下水圧による転倒モーメント

(2) 応力経路による方法

せん断過程による応力経路を追うことによって地盤の破壊包絡線と発生応力との比を求め、安定性を評価しようとするものである (図-3 参照)。

具体的には以下に示す安全率を算定する。

$$\text{掘削前の安全率 } F_{SB} = \frac{\tau_a}{(\sigma_1 - \sigma'_3)/2}$$

$$\text{掘削後の安全率 } F_{SA} = \frac{\tau_b}{(\sigma_1 - \sigma'_3)/2}$$

ここに、

σ_1, σ'_1 : 掘削前後の最大主応力

σ_3, σ'_3 : 掘削前後の最小主応力

τ_a, τ_b : 掘削前後の土のせん断強度

(3) 極限解析法 (可容速度場法) による方法

本法は塑性論の上界定理に基づき円柱体の安定を解析する方法である。本法の解析解は粘性土地盤の場合、日下部によって1次近似的に求められており⁸⁾その結果得られた滑り面 (図-4 参照) と極限支持力は次のようになる。

$$q_{ul} = \gamma_1 \cdot D_{ult} = N \cdot C_u$$

ここに、

q_{ul} : 極限支持力

N : D/r_0 によって決まる安定数

$$N = \frac{1 + 2(D/H)(r_0/D) + 4/3(H/D)(D/r_0)(1 - 2\alpha + 2\alpha^2)}{P/(\gamma_1 D) + (1 - H/2D) - (\gamma_s/2\gamma_1)(2Z/D - H/D)}$$

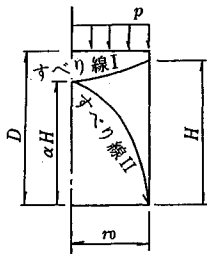


図-4 極限解析法による安定解析

のが表-1である。

3次元円筒滑り理論による方法および極限解析法による方法ともに安全率は現実の現象をよく表現している。極限解析法による方法は土質条件が複雑な場合、解析解を求めることは困難である。

3次元円筒滑り理論による方法は滑り破壊の形態が現実と異なるが諸条件を実際に忠実に考慮することができ、内部土塊の安定を簡単に表現できる方法であると思われる。

4. 掘削時の周辺地盤の挙動に関する計測

(1) 計測の意義

連壁基礎掘削時の周辺地盤の挙動を把握することは、掘削時の安定問題を解明するうえで重要である。バケット式掘削機による掘削と回転ビット式掘削機による掘削とは周辺地盤に生ずる挙動は若干異なるものと思われるが、以下比較的一般的に使用されている前者を対象とする。バケット式掘削機による掘削の場合はバケットの動きは次のとおりである。

- ①安定液中にバケットが着水
- ②降下
- ③掘削位置より少し上部にバケットを一旦停止・位置ぎめ
- ④掘削位置に着底
- ⑤バケット先端の刃先を地盤に貫入、掘削土をバケット内に積込むため「チョッピング」→
- ⑥上昇
- ⑦安定液中からバケットが離水
- ⑧地上にて排土

以上のバケットの安定液中の動きやバケットが地盤に与える衝撃等により周辺地盤は振動し、間隙水圧の変動が生じることが経験的に知られているが、今までこれらの地盤の挙動の定量的な計測はなされていない。今回掘削中の周辺地盤に発生する加速度および間隙水圧の変動を定量的に把握するため上記の①～⑥の過程を通して計測を行った。連壁基礎として、5m×7mの小断面連壁基礎および13m×26mの大断面連壁基礎を対象として計測を実施した。

(2) 計測概要

a) 小断面連壁基礎に関する計測 (計測1と称する)
阪神高速湾岸線魚崎浜工区において採用された5m(幅)×7m(長さ)×42m(深さ)×0.8m(厚さ)の高架橋連壁基礎の施工時に計測を実施した⁹⁾。

当地点の土質は表層部に十数mの埋立層と数mの沖積粘土層が分布し、その下位に洪積砂・砂礫層と洪積粘土層が互層状態で分布している。なお埋立層および沖積粘土層は溝壁崩壊の防止対策としてSMWによる地盤改良が施されている。

各種の計測器は過剰間隙水圧の発生に対して最も安定性が危惧される洪積砂礫層を対象に設置した。また、平面的には内部土塊が3面をコンクリート壁により囲まれた最終エレメント掘削時を計測の対象として計測器を設

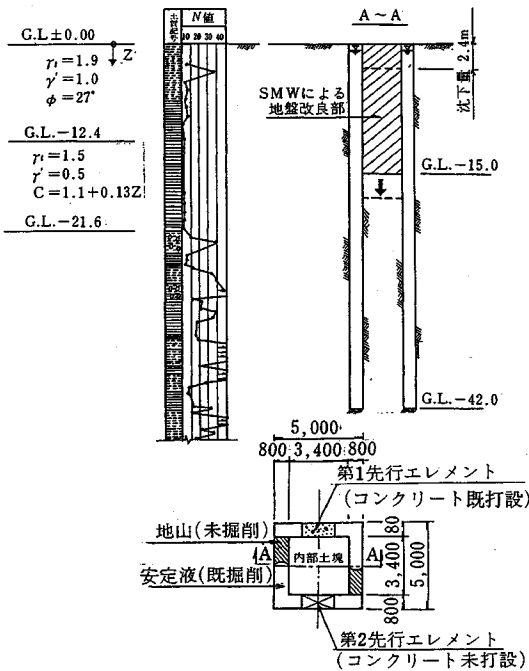


図-5 内部土塊の崩壊例

- γ_t : 粘土の単位重量
- γ_s : 安定液の単位重量
- Z: 粘土層下端深度
- C_u : 粘土層の非排水せん断強度
- r_0 : 角柱の場合等価面積の円半径
- α : 図-4 参照

(4) 内部土塊崩壊事例に基づく解析手法の評価

小断面連壁基礎の掘削時に内部土塊が崩壊した事例を対象として、上記の解析法により崩壊時の内部土塊の安全率を逆算した。

崩壊は第1先行エレメントの施工完了後、第2エレメントの鉄筋籠の建て込み完了直後に内部土塊が約2.4m下方に陥没した。陥没後の溝壁計測結果から判断すると、崩壊が発生した地層は地盤改良部(SMW)直下の軟弱粘土層であった。図-5に崩壊が発生した連壁基礎の平面図および断面図をしめす。

上記の3解析方法により崩壊時の安全率を算出したも

表-1 各種安定解析法による安全率

	三次元円筒すべり理論による方法	応力経路による方法	極限解析法による方法
崩壊モデル			
起動モーメント (tf・m)	土塊自重; $M_6 = 6004 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 上載荷重; $M_7 = 194 \text{ tf}\cdot\text{m}$	土塊重量 $29.6 \text{ tf}/\text{m}^2$ 内部摩擦角による低減応力 $2.74 \text{ tf}/\text{m}^2$	土塊(粘土土)自重 $q_u = 9.90 \text{ tf}/\text{m}^2$
起動動力 (tf)	地下水圧; $M_8' = 1819 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 泥水圧; $M_8'' = 1789 \text{ tf}\cdot\text{m}$	粘着力による低減力 $1.94 \text{ tf}/\text{m}^2$ 最大主応力 $\sigma_1 = 24.9 \text{ tf}/\text{m}^2$ 泥水による拘束圧 $17.0 \text{ tf}/\text{m}^2$	
せん断力 (tf/m ²)	起動モーメント $M_0 = 9806 \text{ tf}\cdot\text{m}$	最小主応力 $\sigma_3 = 17.0 \text{ tf}/\text{m}^2$ せん断力 $\tau_0 = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = 3.96 \text{ tf}/\text{m}^2$	
抵抗モーメント (tf・m)	内部摩擦角による側面抵抗 $M_1 = 483 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 粘着力による側面抵抗 $M_2 = 818 \text{ tf}\cdot\text{m}$	非排水せん断強度 $\tau = 2.39 \text{ tf}/\text{m}^2$	極限支持力 $q_{ul} = 9.98 \text{ tf}/\text{m}^2$
抵抗力 (tf)	粘着力による滑り面抵抗 $M_3 = 1267 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 泥水圧抵抗 $M_4 = 7112 \text{ tf}\cdot\text{m}$		但し $N = 2.85$ $C_u = 3.48 \text{ tf}/\text{m}^2$
せん断力 (tf/m ²)	抵抗モーメント $M_R = 9680 \text{ tf}\cdot\text{m}$		
崩壊時安全率	$F_s = M_R / M_0 = 0.99$	$F_s = \tau / \tau_0 = 0.6$	$F_s = q_{ul} / q_u = 1.01$

置した。

図-6に計測器設置断面および平面を示す。計測データはパソコンと電磁オシログラフを用いた計測システムにより記録した。

内部土塊中央部には過剰間隙水圧を消散させるための緩衝孔(スリットを設けた塩ビパイプφ115 mm)を設置した。この緩衝孔内に遮水パッカーの装置を施し(図-6(c))地上からの操作により緩衝孔の機能を停止・稼働させ緩衝孔の効果を確認した。

b) 大断面連壁基礎に関する計測(計画2と称する)

大阪市淀川区加島において建設中の西松建設独身寮ルーミィ神崎川の地下部の連壁(西松式地下連続壁工法, DIA-WIN工法)施工時に計測を実施した¹⁰⁾。

連壁基礎諸元は13 m(幅)×26 m(長さ)×17.5 m(深さ, 一部9.5 m)×0.6 m(連壁厚さ)である(図-7参照)。

当地点の土質構成はGL-6 m~7 mまでの沖積砂質土層(N値1~25のゆるい細砂~中砂を主体, 所々シルトや礫を含む), その下部のGL-15 m付近までの沖積粘性土層(N値0~4の非常に軟弱な貝殻片を含む均質な粘土, 下部の方は細中砂を含む所がある), および上部洪積層より成っている。上部洪積層の内GL-15 m

~22 m付近の砂礫層は天満砂礫層と呼ばれ連壁基礎の支持層になっている。

間隙水圧計および加速度計は, GL-5 mの沖積砂層およびGL-16 mの洪積砂礫層に設置した。図-8に計測器設置断面および平面を示す。計測データは計測1の場合と同様な計測システムにより採取した。

(3) 計測結果の考察

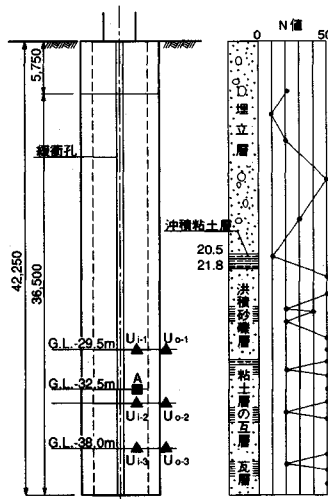
a) バケットの動きと周辺地盤の挙動

図-9はバケットの動きと周辺地盤に発生する過剰間隙水圧および加速度を模式的に示したものである。

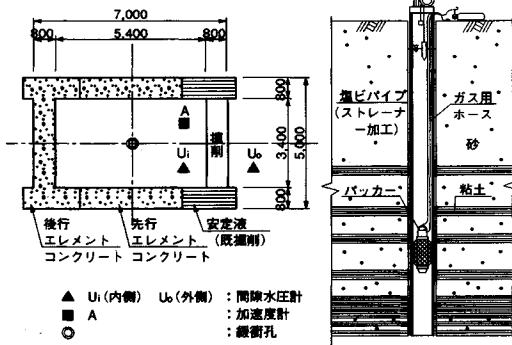
間隙水圧は安定液中のバケットの動きに敏感である。バケットが安定液中を降下すると間隙水圧が漸増し, バケットが掘削位置に着底すると急増する。その直後に負の過剰間隙水圧が発生するがすぐに消散する。バケットによるチョッピング中も過剰間隙水圧は残留しバケットが上昇を開始してもさらに残留し続ける。

これらの過剰間隙水圧の発生は連壁基礎の内部土塊内の方が外部地盤より顕著である。これは周囲を連壁で囲まれていることが過剰間隙水圧の発生・残留を助長しているものと考えられる。

加速度についてはバケットが着底し, チョッピングしている間のみ発生している。



(a) 断面図



(b) 平面図

(c) 緩衝孔

図-6 計測機器設置位置 (計測1)

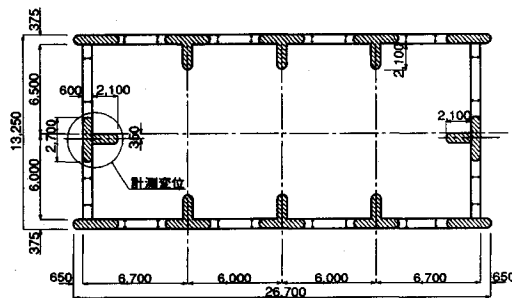


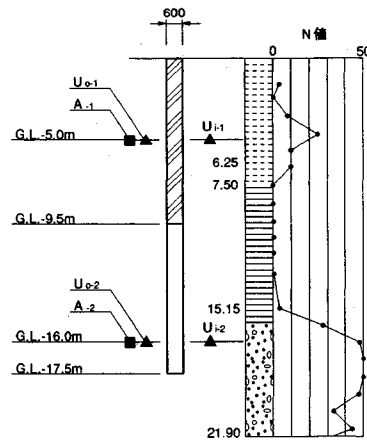
図-7 連壁基礎平面図 (計測2)

b) 加速度と間隙水圧の関係

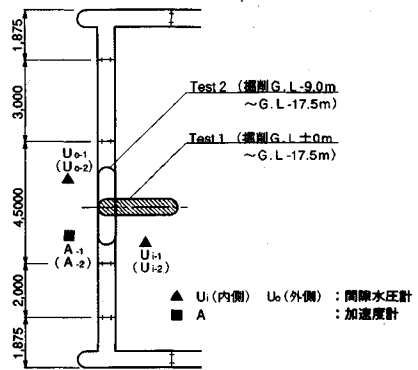
図-10に掘削深度と地中に発生する各深度における最大過剰間隙水圧 (ΔU) とそれに対応する加速度 (a) の関係を示す ((a) 計測1, (b) 計測2).

また、図-11は、地中に発生する過剰間隙水圧とそれに対応する加速度の関係をプロットしたものである。

図-10および図-11より次のことが言える。



(a) 断面図



(b) 平面図

図-8 計測機器設置位置 (計測2)

① 基礎内側土塊中に発生する過剰間隙水圧は同外側に比較して大である。

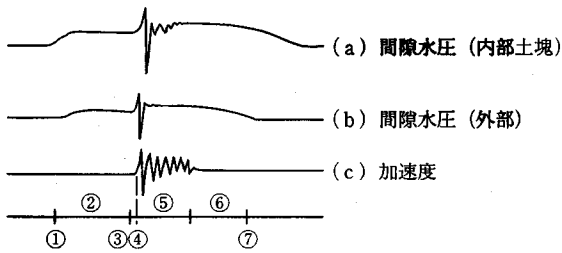
② 加速度と過剰間隙水圧の関係は、 t 分布表による相関関係の検定を行うと極めて有意な相関があることが分かる。

c) 緩衝孔の効果確認試験およびバケットの落下試験
図-12に示す要領にてバケットの落下試験を実施した。

図-13 (a) は計測1において実施した深度37m (洪積砂礫層) 掘削時のバケットの落下試験の結果である。すなわちバケット落下高さを変化させ、それに対応して地中に発生する過剰間隙水圧の関係を試験したものである。試験中、内部土塊中央部に設置した緩衝孔 (図-6参照) の機能を停止させ、その効果を確認した。

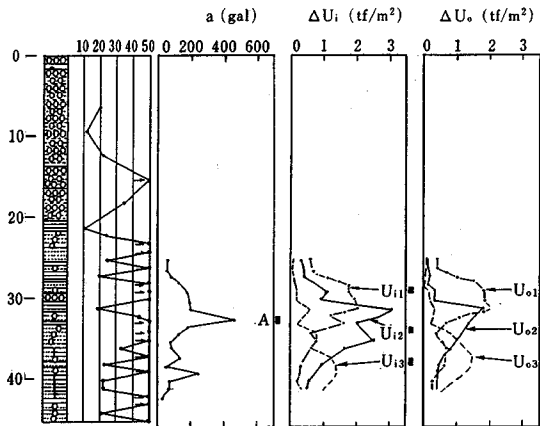
緩衝孔は図-6に示すように掘削中に土中に発生する過剰間隙水圧をできる限り小さくかつすみやかに消散させる目的で設置されたスリット付き塩ビパイプである。

緩衝孔については、最終エレメント近傍に設置されその効果が確認されたことがあるが、定量的にはその効果は確認されていない。今回、特殊な遮水バクカーにより

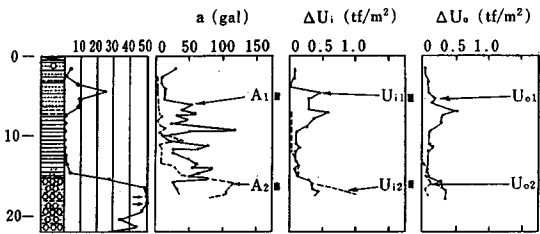


- ① バケット安定液中に着水 ② 降水 ③ 停止 ④ 着底
 ⑤ チョッピング ⑥ 上昇 ⑦ 離水

図-9 バケットの動きと過剰間隙水圧および加速度

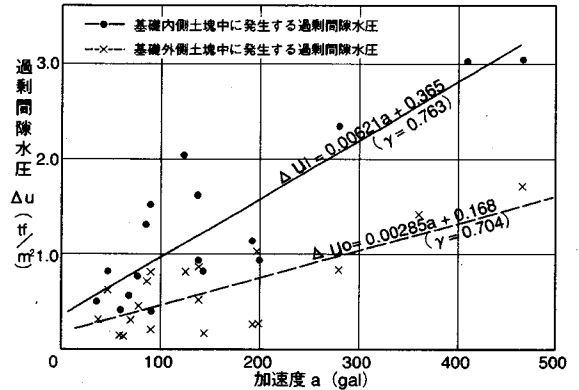


(a) 計測1

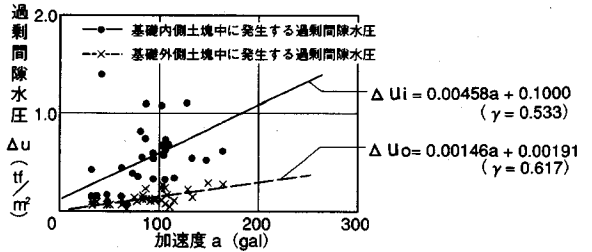


(b) 計測2

図-10 掘削深度と加速度および過剰間隙水圧の関係



(a) 計測1 (加速度計Aと間隙水圧計U1, Uo-2の計測結果より)



(b) 計測2 (加速度計A2と間隙水圧計U1, Uo-2の計測結果より)

図-11 加速度と間隙水圧の関係(計測1)

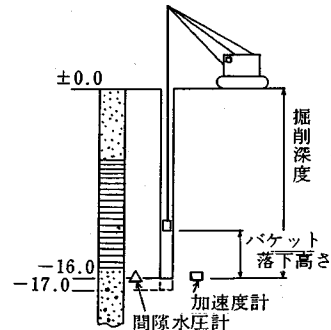


図-12 バケットの落下試験

緩衝孔の機能を停止・稼働させることにより緩衝孔の効果を定量的に確認することができた。

緩衝孔の機能を停止させた場合、発生する過剰間隙水圧は緩衝孔が機能している時に比べて約2倍の大きさを示しており、緩衝孔の効果が大きいことが判明した。すなわち、この緩衝孔は掘削時の溝壁の安定性を向上させる一方法として評価できることが明らかになった。

また、バケットの落下高さが大きくなれば発生する過剰間隙水圧も大きくなっている。

図-13 (b) は計測2において実施した深度16m (洪積砂礫層) 掘削時のバケット落下試験の結果である。バケットの落下高さに比例して発生する過剰間隙水圧が大きくなっていること、また基礎の内部土塊部の方が基礎

外部地盤に比べて過剰間隙水圧が大きくなることを示している。これらの過剰間隙水圧の差異は周囲が連壁で囲まれ閉塞されていることにより増幅されることがその理由であると判断される。

5. 掘削時の安定性向上に関する考察

(1) 安定に影響を与える要因

連壁基礎の掘削時の安定に影響を与える主要因は次の5つに大別できる。

- ① 基礎形状, エレメント形状・構造 (基礎幅, 長さ, 深さ, 連壁幅, エレメント長さ, エレメント側面構造 (鉄板あるいはシート))
- ② 掘削方法, 掘削順序 (ガット割り, 掘削機の種類)

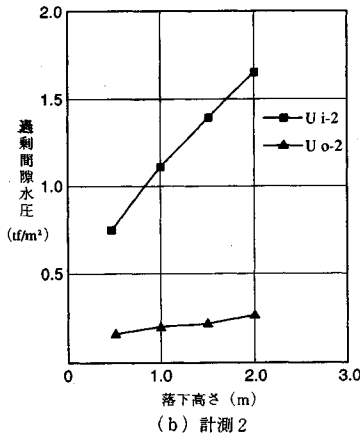
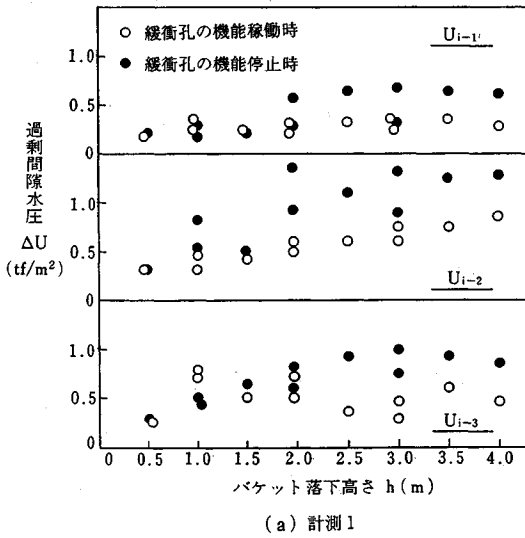


図-13 バケットの落下試験結果

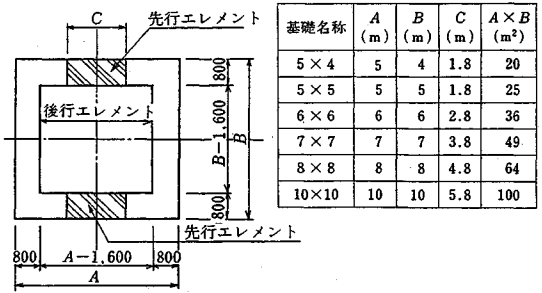


図-14 基礎形状

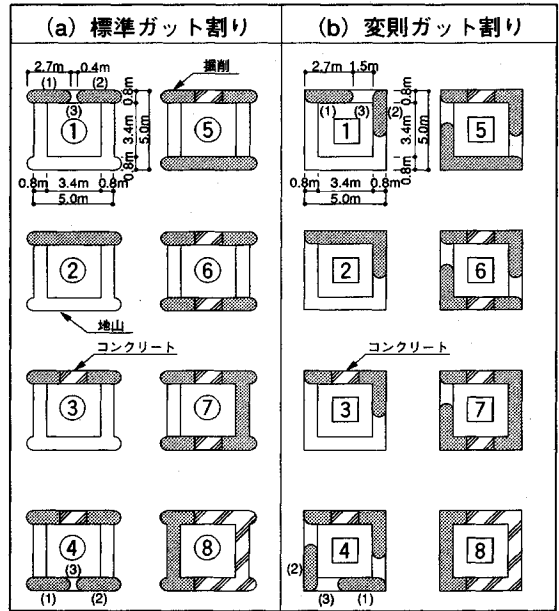


図-15 ガット割り

掘削速度, バケットの落下高)

③ 土質・地下水 (地盤強度 C および ϕ , 地盤改良範囲および強度, 単位重量, エレメント側面と地山との摩擦力, 地下水位, 等隙水圧)

④ 安定液 (安定液の種類, 品質, 液位, 比重)

⑤ 荷重 (上載荷重, 重機荷重)

連壁基礎の掘削前にこれらの影響要因の安定性に対する寄与度を把握することは, 掘削の安定条件下で行うために非常に重要である。

(2) パラメトリックスタディ

連壁基礎の掘削時の安定に対して上記の要因の内, 基礎形状・安定液比重・地下水位・上載荷重・先行エレメントと地山の摩擦力・地盤強度・ガット割りの7要因を選択し, これらの要因が掘削時の安定性にいかなる寄与をするかに関してパラメトリックスタディを行った。

パラメトリックスタディの検討条件として下記に示す前述の内部土塊の崩壊事例の条件を採用した。

① 基礎形状: $5\text{m} \times 5\text{m} \times 0.8\text{m}$ (連壁厚) (図-14 参照)

② 安定液比重: 1.05

③ 地下水位: $GL - 1.0\text{m}$

④ 上載荷重: 1.0tf/m^2

⑤ 先行エレメントの地山に対する摩擦力 (シートと地山の摩擦力): 2.5tf/m^2

⑥ 土質条件: 図-5 参照

⑦ ガット割り: 図-15 (a) 標準ガット割りを採用
 ガット割りについては図-15 (a) の標準ガット割りと図-15 (b) の変則ガット割りを比較し, 内部土塊外周表面の開放率 (内部土塊外周表面の内, ①掘削により開放されている面積と②全外周面積の比, ただしコンクリート打設部は①に含めない) をパラメーターとした。上記7条件の内1条件をパラメーターとして変化させ安定に対する安全率を3次元円筒滑り理論により求めた。

なお, 解法や検討条件が限定されたものであるため検

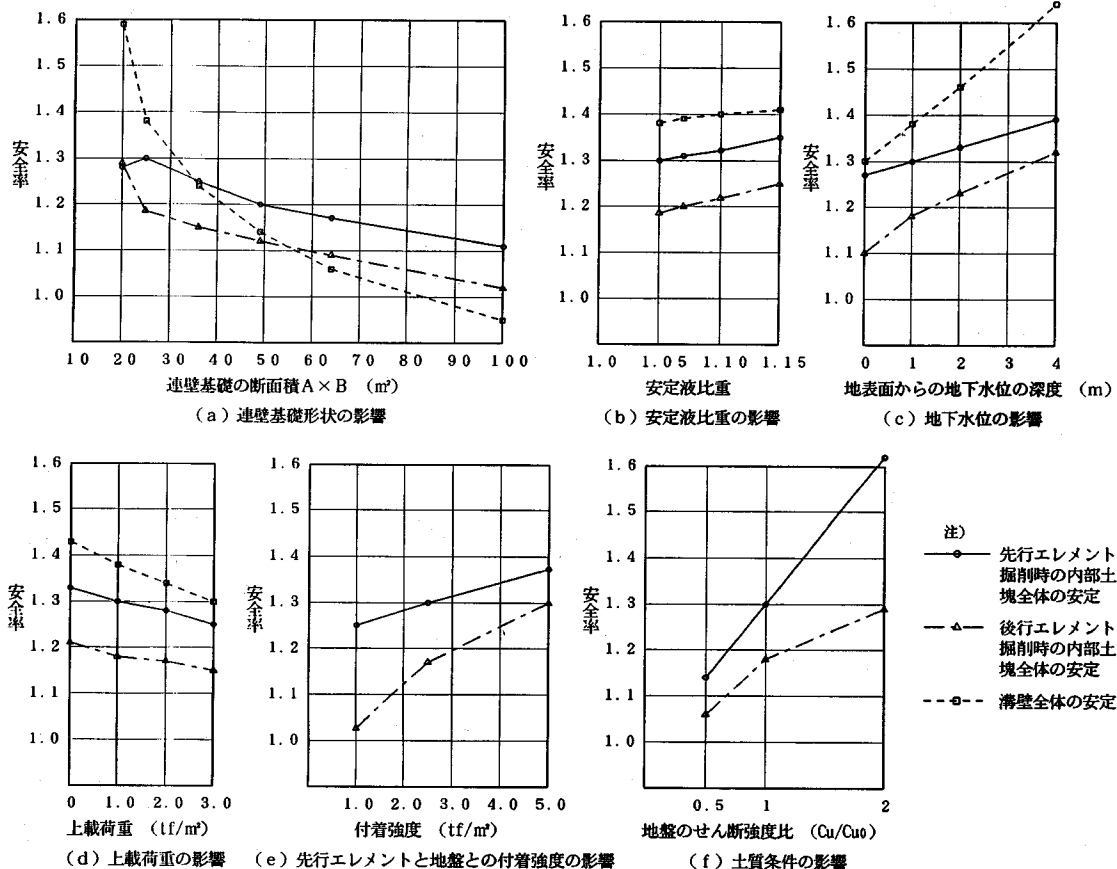


図-16 パラメトリックスタディ結果

討結果がすべての条件下の連壁基礎に適用できるものではないが、内部土塊の安定性を向上させる方策を検討する場合に有効である。

以下パラメーター毎に考察を加える。

a) 基礎形状の影響 (図-16 (a))

基礎断面が55 m² 付近を境にそれより断面積が小さい場合は後行エレメント掘削時の内部土塊全体の安定に関する安全率が支配的であるが、逆にそれより断面積が大きい場合は溝壁全体の安定に関する安全率が支配的である。一般的な傾向として、基礎の断面積が大きくなるに従い内部土塊全体および溝壁全体の安定に関する安全率がともに低下する。この理由として、内部土塊全体の安定については断面積が大きくなるに従い、土塊側面抵抗の安定に寄与する割合が減少すること、溝壁全体の安定に関しては、基礎断面積が大きくなるに従いエレメント長が長くなっていることが挙げられる。

b) 安定液比重 (図-16 (b))

安定液は溝壁・内部土塊を安定させる良好な流体であり、かつ良質なコンクリートを打設するための置換流体であることが要求される。前者の目的のためには高比重

が望ましく、後者の目的のためには低比重が望ましい。以上の観点から、通常安定液の比重として1.05~1.15程度の比重が採用されている。すなわち、掘削時の安定性を向上させるためにむやみに比重を上げることはできない。スタディの結果では比重を1.05から1.15の高比重に変化させた場合でも、安定に関する安全率は1.18から1.25まで増加(6%程度増加)するにすぎない。

c) 地下水水位の影響 (図-16 (c))

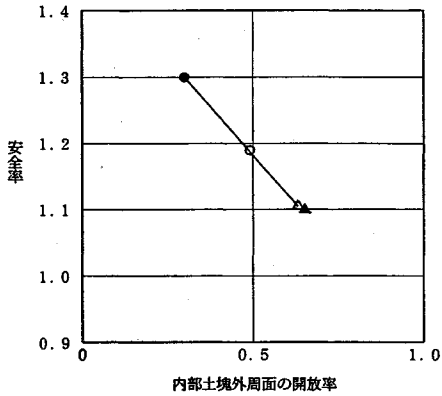
スタディの結果より地下水水位を低下させることは掘削時の安定性を向上させる対策として有効であることが判る(地下水水位を2.0 m 低下させると安全率は12%程度増加している)。

d) 上載荷重の影響 (図-16 (d))

通常の施工条件では、上載荷重は1~2 tf/m² 程度である。いま仮に上載荷重2 tf/m² を0 tf/m² まで低減させた場合、安全率の改善は約3%にすぎない(後行エレメントの内部土塊の安全率が1.17から1.21に増加)。

e) 先行エレメントと地山の摩擦力の影響 (図-16 (e))

先行エレメントと地山の摩擦力 C_F は土質、地山に接し



注) 1
 ● 標準ガット割り、先行エレメント打設時
 ○ - " - 後行 - " -
 ▲ 変則ガット割り、先行 - " -
 △ - " - 後行 - " -
 図-17 ガット割りの影響

ている先行エレメントの状態(シートを介している場合、鉄板を介している場合、コンクリートが直接接している場合等)、作用する土圧等により異なる。本スタディでは $C_F=1\sim 5\text{ tf/m}^2$ まで変化させた。

後行エレメントの掘削時の内部土塊の安定に対して C_F の影響は特に大きい。たとえば $C_F=2.5\text{ tf/m}^2$ の場合の安定に対する安全率は1.18であるが、 $C_F=1.0\text{ tf/m}^2$ の場合の安全率は1.05に低下する。したがって、掘削時の内部土塊の安定を適切に評価するためには、先行エレメントと地山との摩擦力を正確に把握する必要があることが分かる。

f) 土質条件の影響 (図-16 (f))

本スタディでは滑り面は軟弱粘性土層を通る。したがって軟弱粘性土のせん断強度の変化は内部土塊の安定に関する安全率に大きく影響する。たとえば軟弱粘性土のせん断強度が1/2に低下した場合、安全率は1.30→1.14 (先行エレメント掘削時)、1.18→1.06 (後行エレメント掘削時)まで低下する。

掘削時は土かぶり圧による拘束力を開放するため、粘性土の強度低下は避けられず内部土塊の安定性は掘削中に低下することに留意する必要がある。

g) ガット割りの影響 (図-17)

連壁基礎を掘削する場合、ガット割りが内部土塊の安定性に対して大きく影響することが図-17より明らかである。したがって連壁基礎の掘削時には、内部土塊の安定性に優れたガット割りにすべきであることを示している。

(3) 掘削時の安定性向上のための対策

以上の検討結果や計測結果に基づき掘削時の安定性を向上させるための対策についてまとめたものが表-2である。表-2において、掘削時の安定を、①溝壁全体の安

表-2 連壁基礎掘削時の安定性向上対策

安定性向上対策		安定の種類		内部土塊安定
		溝壁の安定	全体	
基礎形状・エレメント	① 先行エレメント表面と地盤との摩擦力を増加させる構造を採用する (鉄板よりシートの方が有利)。			◎
掘削方法・掘削順序	② 掘削時の安定を確保できる適切なガット割りを採用する。	◎		◎
	③ バケットの落下高さを低くする。		◎	
	④ 軟弱粘土層の掘削時解放時間をできるだけ短くする。	◎	◎	◎
土質・地下水位・間隙水圧	⑤ 地盤改良を行い地盤強度を増加させる (泥水固化・薬注)	◎	◎	◎
	⑥ 地下水位を低下させる (ディーブウエル等)。	◎	◎	◎
	⑦ 掘削時の異常な間隙水圧の上昇を防ぐため基礎内側土塊中央に緩衝孔を設ける。	◎	◎	◎
安定液	⑧ 安定液を高くする。	◎	◎	◎
	⑨ 安定液の比重を高くする。	◎	◎	◎
荷重	⑩ 上載荷重を低減する (たとえば支持杭を打設しスラブ構造とする)。	◎		◎

定、②溝壁の局部的安定、③内部土塊全体の安定の3つに分類して該当する対策を示している。これらの対策の内いずれを採用するかは施工条件・土質条件等により異なる。

連壁基礎の場合、特に留意すべき対策としては、表-2中の①、②、⑦である。

緩衝孔に関しては、いままでその効果について定量的な評価はされていなかったが、今回の計測によりその効果が実証された。

6. まとめ

連壁基礎の掘削時の安定について内部土塊の安定解析手法、掘削時の周辺地盤の挙動および安定性を向上させるための対策について検討し、以下の結論を得た。

(1) 連壁基礎の掘削時の安定を検討する場合、溝壁全体の安定、溝壁局所的安定および内部土塊全体の安定について考慮する必要がある。

(2) 内部土塊の安定解析手法として内田らの3次元円筒滑り理論による方法は有効であり、実際の安全率を良く表現している。

(3) バケットによる掘削では周囲地盤に加速度と間隙水圧の上昇が生じ、両者間には極めて有意な関係が認められ、また、内部土塊中に発生する過剰間隙水圧は、基礎外側に比較して大である。

(4) 掘削時に内部土塊中に発生する過剰間隙水圧を抑制するためには、内部土塊内に設置する緩衝孔が有効であり、内部土塊の掘削時の安定性向上対策として評価できる。

(5) その他、内部土塊の掘削時の安定性向上対策としてガット割りや先行エレメントの地盤との接触面の構造についても留意する必要がある。
最後に、連壁基礎の施工ならびに掘削時の周辺地盤の挙動に関する計測・解析についてご指導いただいた大阪大学松井保教授ならびに阪神高速道路公団の関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 矢作 枢：土木構造物における連壁基礎の現状と動向，基礎工，Vol.17，No.1，pp.2～7，1989.1.
- 2) 和田克哉・菅原聡・若林登：地中多壁基礎の設計と施工，基礎工，Vol.20，No.2，pp.46～pp.52，1992.
- 3) 内田博・水谷仁：ベントナイト泥水による掘削壁面の安定性について（その1），鹿島建設技術研究所年報，第17号，pp.165～180，1968.
- 4) 内田博・田中邦照・水谷仁：ベントナイト泥水による掘

削壁面の安定性について（その2），鹿島建設技術研究所年報，第18号，pp.95～105，1969.

- 5) 大塚義之・小林幸男：SSS工法に関する実験的研究（その1），清水建設研究所報，第18号，pp.207～213，1971.
- 6) 金谷祐二・秋野矩之：泥水掘削における溝壁安定の実大実験，土質工学会論文集，Vol.24，No.4，pp.171～182，1984.
- 7) 地中連続壁基礎協会：地中連続壁基礎工法技術資料集，pp.3-4～3-11，1987.
- 8) 日下部治・萩原敏行・菊原信隆：円柱状の粘土土塊の非排水安定問題，土木学会第43回年次学術講演会 pp.264～265，1988.
- 9) 中島裕之・西岡敬治・長野敏郎・細井武・福田勇治・林健二：小断面連続地中壁基礎の現地計測，土木学会第45回年次学術講演会，pp.992～993，1990.
- 10) 細井武・小堀田勉・土井幸夫・長野敏郎・笠松照親・石田忠：DIA-WIN工法による地下連続壁施工時の計測と解析，西松建設技報，Vol.15，pp.44～48，1992.

(1992.6.15 受付)

CONSIDERATION ON STABILITY ANALYSIS DURING EXCAVATION OF ENCLOSED WALL FOUNDATION

Takeshi HOSOI, Toshirō NAGANO and Yūji FUKUDA

Stability analysis methods for a "isolated ground" surrounded by a diaphragm wall were studied based on the collapse which occurred at the site and it is confirmed that a "3 dimensional cylindrical sliding theory" is practical for the analysis. A excess pore water pressure developed in the isolated ground was higher than that of the outside of the diaphragm wall and it was found that a "surge pipe" with slits effectively reduced the excess pore water pressure.