

# 論文 高流動コンクリートを用いた地中連続壁の側圧に関する一考察

木村 克彦\*<sup>1</sup>・田中 慎一\*<sup>2</sup>・鹿島 雄樹\*<sup>3</sup>・佐藤 充史\*<sup>3</sup>

要旨：仕切り板方式の地中連続壁（以下、連壁）、とくに先行エレメントの施工では、側圧の面から打込み速度を制限して施工しているのが現状である。連壁の精度のよい側圧予測方法が確立できれば、構造の合理化、施工時間の短縮などに貢献できる。しかし、側圧を合理的に精度よく推定する方法、特に高流動コンクリートを用いた高密度配筋の連壁に対しては十分に確立されていない。本研究では、高流動コンクリートを高密度配筋された連壁に打ち込んだ場合の側圧について室内試験結果、これまでの実績と比較検討し、配筋が側圧に及ぼす影響が大きく、動的圧の影響範囲が小さくなることなどを明らかにした。

キーワード：高流動コンクリート、高密度配筋、コンクリート側圧、地中連続壁

## 1. はじめに

仕切り板方式の連壁、とくに先行エレメントを施工する場合、側圧の面から打込み速度を約5～6 m/hr以下になるようにコントロールしながら施工しているのが現状で、長さが100 mを超える大深度連壁の場合、打設時間が20時間を超えることもしばしばである<sup>1), 2)</sup>。さらに、高強度連壁で高流動コンクリートとした場合には、側圧が大きくなる傾向にある<sup>3)</sup>。このようなことから連壁においては施工時の精度のよい側圧予測方法に対する要求は多い。しかし、連壁、とくに高流動コンクリートを用いた高密度配筋の連壁の側圧予測に関する研究はほとんどないのが現状である。

本研究は、高流動コンクリートを高密度配筋された連壁に打ち込んだ場合の側圧を測定するとともに室内試験を行い、これらの結果およびこれまでの高流動コンクリートを用いた連壁の側圧測定結果と比較検討したものである。

## 2. 試験概要

### 2.1 コンクリートの配合

コンクリート材料として、セメントには高炉

B種セメント（密度3.04t/m<sup>3</sup>）、混和剤には増粘剤混入タイプのポリカルボン酸系高性能AE減水剤、混和材には石灰石微粉末（密度2.70t/m<sup>3</sup>、粉末度4000cm<sup>2</sup>/g）骨材はプラントA（以下、P-A）およびプラントB（以下、P-B）で使用している砕石、海砂、山砂を用い、それらの品質は粗骨材（表乾密度2.68, 2.69t/m<sup>3</sup>）、細骨材（表乾密度2.56, 2.57t/m<sup>3</sup>、FM約2.63）である。コンクリートは、スランプフロー60cmの高流動コンクリートで、その配合を表一に示す。なお、設計基準強度が30MPa（材齢56日）のコンクリートである。

### 2.2 試験・測定項目

フレッシュコンクリートの試験項目は、スランプフロー、50cmフロータイム、空気量、コンクリート温度およびコンクリート側圧である。

コンクリートの製造にはプラントの水平2軸ミキサを用い、1バッチ当たり2.25m<sup>3</sup>練りとした。

### 2.3 側圧測定方法

室内試験における側圧測定は、図一に示す丸形の試験装置（内径φ38×深さ80cm）を用いて行った。なお、載荷板径はφ36cmである。

測定は、まずコンクリート槽の底面から15cm

\*1 清水建設（株）技術研究所 土木研究開発部主席研究員 工博（正会員）

\*2 清水建設（株）土木東京支店基礎工事部工事長

\*3 清水建設・大成建設・間組共同企業体

表-1 コンクリートの配合

プラント	スランプ高 (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	石粉	S	G	混和剤
P-A	60	50	3.0	52.5	180	360	70	869	823	5.81
P-B				50.0	180	360	70	828	868	5.59



写真-1 土圧計取付け状況

(側圧測定用の土圧計  $\phi$  10cm, 0.5MPa 用の中心)までコンクリートを投入し、初期値(零点)を取り、この位置から62cmまでコンクリートを投入する。その後、打込み高さに相当する上載荷重を打込み速度に対応して載荷し、1分間隔で荷重および側圧を測定する。自重および加圧によるコンクリート天端(槽と載荷板の間)からの脱水量は、載荷直後から5分毎および載荷直前に測定し、これらのトータル量を脱水量とした。試験では、実機に合わせて1回あたりの打込み高さを1.5m、打込み速度を6m/h、打込み間隔を15分とする。

実機における側圧測定では、写真-1に示すように土圧計(差動トランス式土圧計, 0.5MPa用,  $\phi$  200mm)を水平方向と鉛直方向のコンクリート圧を測定できるように取り付けた。なお、土圧計位置に白金抵抗体をセットして同時にコンクリート温度も測定した。また、実機では側圧測定位置の上部約10数mには一部分で2段配筋部があり、せん断補強筋D22が周方向にピッ

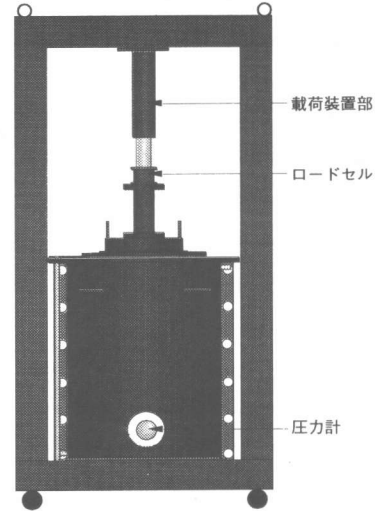


図-1 側圧試験装置

チ200mm、縦方向ピッチ400mmで配筋されており従来の補強筋に比べてかなり多い。

#### 2.4 データ整理方法

室内試験における側圧は、側部に取り付けた2台の土圧計の測定値の平均とする。側圧は、上載圧から算定する式(1)および側圧測定深度での鉛直圧から算定する式(2)で与えられるとし、側圧係数を測定値より逆算する。なお、室内試験では側圧および鉛直圧測定用の土圧計中心からコンクリート天端までの充てん高さは0.62m、装置の断面積Aは0.1134m<sup>2</sup>とする。また、実機ではHとして実測値を用いる。

$$P_h = K \cdot P_t \quad (1)$$

$$P_h = K_0 \cdot P_v \quad (2)$$

$$P_t = L / A \quad (3)$$

$$H = P_t / (\gamma_c' \cdot g) \quad (4)$$

ここに、

K, K<sub>0</sub>; 側圧係数

P<sub>h</sub>; 側圧 (kPa)

表-2 側圧測定結果

プラント	区別	$t_{max}$	$P_{Lmax}$	$P_{Vmax}$	$P_{Hmax}$
P-A	室内	120	156.6	93.2	76.3
	実機	61	77.0	66.3	63.1
P-B	室内	166	211.6	130.5	103.5
	実機	57	84.9	73.8	68.4

注)  $P_{Lmax}$ ,  $P_{Vmax}$ ; 最大側圧時の上載圧, 鉛直圧 (kPa),  $P_{Hmax}$ ; 最大側圧 (kPa)  
 $t_{max}$ ; 最大側圧を示した時間

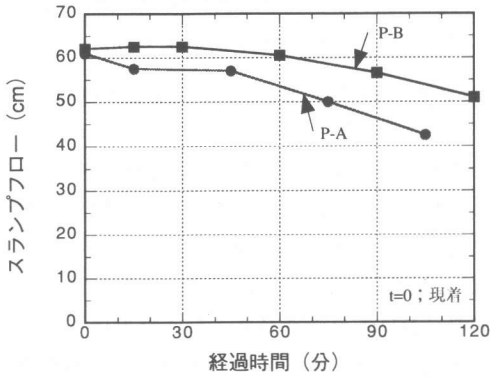


図-2 スランプフローの経時変化

$P_v$ ; 側圧測定深度での鉛直圧 (kPa)  
 $P_L$ ; 側圧測定深度での上載圧 (kPa)  
 $H$ ; 着目点より上のコンクリート相当高さ (m) (以下 打込み高さ)  
 $L$ ; 上載荷重 (kN)  
 ただし, 室内試験では (充てん直後のコンクリート自重) + (天端からの載荷重) とする  
 $\gamma_c$ ; コンクリートの水中密度 ( $t/m^3$ )  
 ただし, 安定液密度を  $1.10t/m^3$  とした。  
 $g$ ; 重力加速度 ( $9.8m/s^2$ )

### 3 試験結果および考察

#### 3.1 コンクリートの品質

スランプフローの経時変化を図-2に示す。試験には, 実機の側圧測定位置に打込まれるアジテータ車から採取したコンクリートを用いた。なお, スランプフローは, 現着を0分として示し, コンクリート温度は22℃(プラントA), 23℃(プラントB)である。

#### 3.2 測定結果

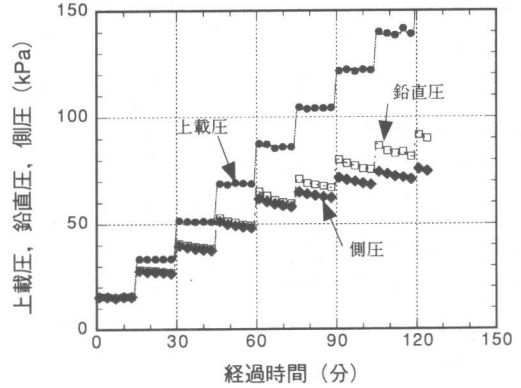


図-3 側圧の経時変化 (室内, P-A)

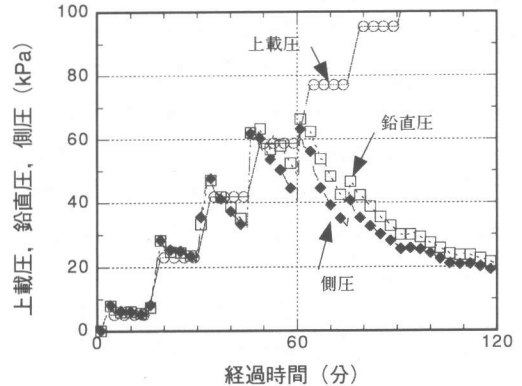


図-4 側圧の経時変化 (実機, P-A)

#### (1) 側圧

室内および実機での側圧の経時変化の1例を図-3および図-4, それぞれのプラントでの側圧測定結果を表-2に示す。なお, 図中には上載圧  $P_L$ , 鉛直圧  $P_v$  を併記した。

室内および実機での最大側圧は, P-A では 76.3kPa, 63.1kPa, P-B では 103.5kPa, 68.4kPa で, それぞれの室内試験結果の最大側圧は, 実

機より大きい。同様に最大側圧を示した時点での上載圧は、P-Aでは156.6kPa, 77.0kPa, P-Bでは211.6kPa, 84.9kPaで、鉛直圧は、P-Aでは93.2kPa, 66.3kPa, P-Bでは130.5kPa, 73.8kPaである。これらの室内試験と実機との差は、図-3および図-4の上載圧と鉛直圧の関係の比較から分かるように室内試験では壁面との摩擦が試験槽の大きさにより限定され、実機に比べて摩擦係数が小さくなること、また静的載荷であるために動的な影響を考慮できないことによる。

室内および実機で最大側圧を示す時間 $t_{max}$ は、P-Aでは120分, 61分, P-Bでは166分, 57分で、室内試験の方が遅くなっている。

さらに、 $P_{h,max}$ は、せん断補強筋量の少ない文献<sup>4)</sup>では室内より実機の方が大きい、本工事では逆に室内の方が大きい。このように $P_{h,max}$ は、せん断補強筋が高密度に配筋されていることの影響を大きく受けると考えられる。しかし、いずれの場合も側圧係数 $k_0$ は、その段階でもほぼ1.00であり、 $P_{h,max}$ の低下がコンクリートの品質変化によるものではないと考えられる。

つぎに、動的な影響は別にして、鉛直圧が減少する原因について考察する。地盤が圧密する場合には、地盤が一様に沈下するため鉛直圧は変化しにくいようである。しかし、連壁ではコンクリートの品質は、時間の経過とともに変化し、外側にはコンクリートと性質の異なるマッドフィルムと地山がある。このためにコンクリートが自重圧密により脱水・沈下するとき、その変形の一部が地山や鉄筋に拘束され、自重の一部が地山や鉄筋に移行するために鉛直圧は減少すると考えられる。

鉛直圧に対して側圧の減少の原因について考察する。 $\Delta t$ 時間内に生じるコンクリートの脱水に伴う沈下が前述のように地山、鉄筋などに拘束されると上部のコンクリート自重の一部が地山、鉄筋などで分担され、この影響で鉛直圧が減少し、側方ひずみが緩和されて側圧が減少する。すなわち、自重圧密に伴う変形が拘束されることにより鉛直圧が減少し、この結果、側

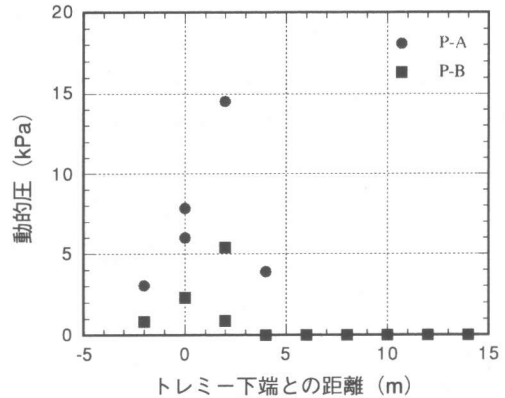


図-5 動的圧とトレミー下端位置の関係

圧も減少すると考えられる。これらは、通常の施工と異なり連壁の施工の特徴である打込み速度が速いことに大いに関係するところである。

## (2) 動的圧

実機におけるコンクリート打込みに伴う動的圧と測定点とトレミー下端との距離の関係を図-5に示す。側圧に対する動的圧 $P_{h,dy}$ （以下、動的圧）は式(5)で与える<sup>5)</sup>。

$$P_{h,dy} = (P_{h,i} - P_{h,i-1}) - (P_{t,i} - P_{t,i-1}) \quad (5)$$

ここに、

$(P_{t,i} - P_{t,i-1})$ ; (i-1)からiステップ間の上載圧増分 (kPa)

$(P_{h,i} - P_{h,i-1})$ ; (i-1)からiステップ間の側圧増分 (kPa)

動的圧の最大値は、P-AおよびP-Bで14.5kPaおよび5.4kPaである。このようにプラントによって異なる原因については不明である。これらの原因には、同じ位置でのトレミー先端の静止時間、貫入長などの施工条件のわずかな違いなどの影響が考えられる。

動的圧は、いずれのプラントともに測定点とトレミー下端との距離が約2mまでは増加するが、これを超えて4mになると減少傾向を示している。なお、このときのコンクリート高さは5.1mと4.1mである。これらのことから打込みなどに伴う動的圧の影響範囲はトレミー下端から約2~4mで、これ以上になればトレミーから排出されるコンクリートの影響が小さくなると

考えられる。文献<sup>9)</sup>では、トレミー下端との距離が5mを超えると動的圧は減少傾向を示している。このように動的圧は、せん断補強筋が多いほどコンクリートの流動などが鉄筋によって阻害されるので  $P_{h,dy}$  が早く減少傾向を示すと考えられる。この影響範囲は、コンクリートのスランプ、コンクリート温度など品質やトレミーの貫入長、打込み速度、配筋条件などの施工要因によって異なることが容易に予想できる。

### (3) 側圧係数

室内および実機での側圧係数を式(1)および式(2)を用いて求め、その経時変化を図-6および図-7に示す。なお、図中にはコンクリート打込み直後と直前の測定結果を示した。

室内での側圧係数  $K_0$  は、いずれのプラントともに载荷後約60分まではほぼ1.0であり、その後減少傾向を示している。P-Bの方が幾分減少しにくいようである。側圧係数の減少傾向は、図-2のスランプの経時変化からも推定できるが、側圧の自重圧密による脱水量は、P-Aの方がP-Bより多く、これに伴う摩擦の増大からも推定できる。

つぎに、実機では、側圧とともに鉛直圧が打込みおよびトレミーの切離しなどに伴うコンクリートの流動の影響を受けているために側圧係数  $K_0$  が1.00を超えている。しかし、流動などの影響が小さくなったと思われる約1時間以降では  $K_0$  は、P-Aでは1.00を下回り、P-Bではほぼ1.00となっている。 $K_0$  の経時変化は、コンクリートの脱水の影響を受けており、P-Aの方が  $K_0$  が小さくなることは室内試験と同様にP-Aの方が脱水量が多いことから推定できる。

### 3.3 室内および実機の比較

#### (1) 側圧

室内および実機の側圧の経時変化を図-8に示す。いずれのプラントも打込み1, 2ステップでは実機の側圧が小さい。これは室内試験では、コンクリートの打込み高さを1.5mとして载荷したのに対し、実機では1ステップの打込み高さが室内より小さくなったためである。しかし、

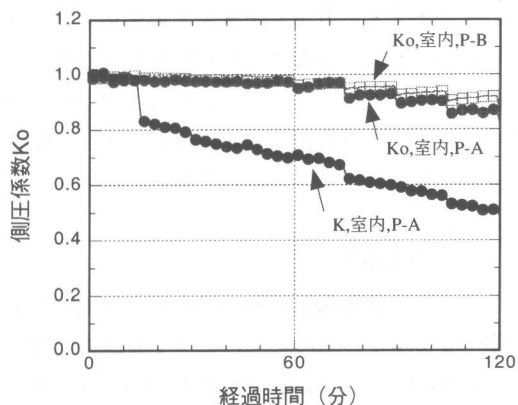


図-6 側圧係数の経時変化(室内)

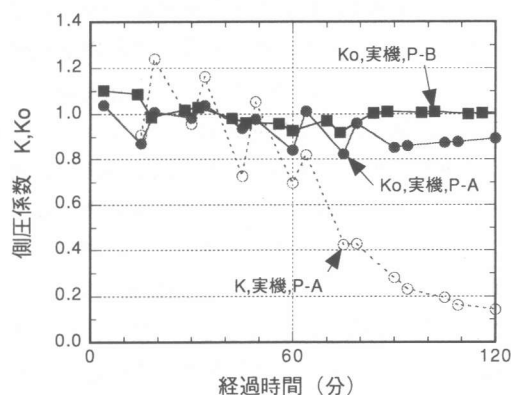


図-7 側圧係数の経時変化(実機)

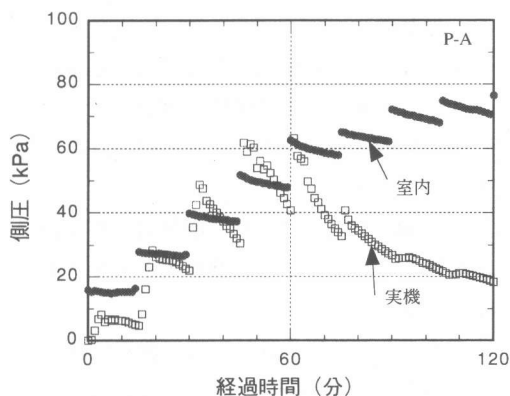


図-8 室内と実機の側圧の比較 (P-A)

その約60分後までは実機の側圧が大きく、これらは打込みに伴う動的圧などの影響が大きいためである。約60分以降では実機の側圧の方が小さいが、動的圧が小さくなるとともに、地山との摩擦(鉄筋による負担も含む)が大きくなっ

たためと考えられる。上載圧との関係では、実機の方が自重圧密などに伴う側圧減少が大きいことがわかる。これらのことから、連壁の側圧予測においては動的圧および地山などとの摩擦力の影響が大きく、これらを適切に推定することが必要である。

#### (2) 側圧係数

室内と実機の側圧係数の経時変化の比較例を図-9に示す。室内試験に比べて実機では側圧係数 $K_0$ は、打込みに合わせて比較的大きく変化しており、初期ではその値は1.0より大きい。また、室内試験ではP-Bの方が幾分 $K_0$ の減少が遅いようである。実機の側圧係数 $K_0$ の経時変化のパターンは、いずれのプラントでも比較的似ているが、値は異なる傾向を示している。

室内と実機の側圧係数 $K_0$ と上載圧の関係を図-10に示す。室内では、側圧係数は単調に減少しているが、実機では一度減少し、その後上載圧が約80kPaの時点で増加傾向に転じている。このように実機では室内に比べて側圧係数の変化が大きいのは摩擦力の影響などを受けているためと考えられる。

#### 4. まとめ

せん断補強筋が高密度に配筋された連壁の側圧、鉛直圧を室内および実機で測定し、これらについて比較・検討した。そして得られた主な結果を以下に示す。

- (1)  $P_{h,max}$  および  $P_{h,dy}$  は、せん断補強筋が高密度に配筋されていることの影響を大きく受けると考えられる。
- (2) 打込みなどに伴う動的圧の影響範囲はトレミー下端から約2~4mで、これ以上になればトレミーから排出されるコンクリートの影響が小さくなると考えられる。
- (3) 連壁の側圧予測においては動的圧および地山などとの摩擦力の影響が大きく、これらを適切に推定することが必要である。
- (4) 実機では室内に比べて側圧係数の変化が大きいのは摩擦力の影響などを受けているためと

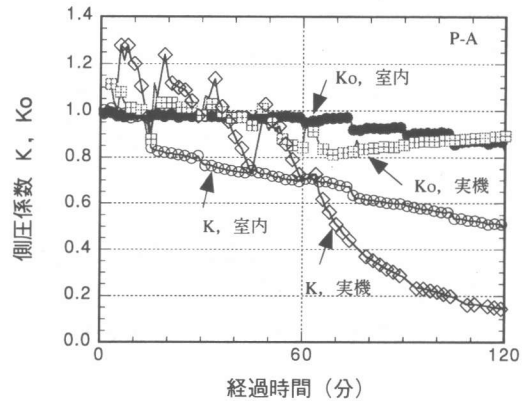


図-9 室内と実機の側圧係数の比較 (P-A)

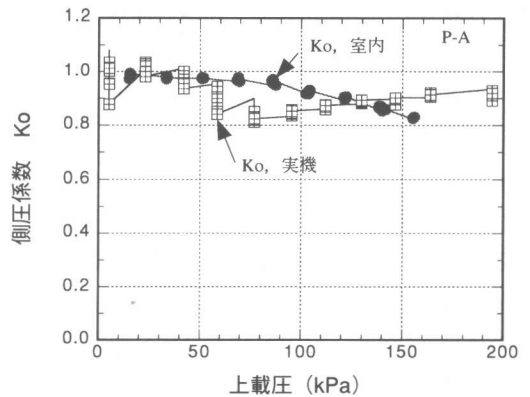


図-10 側圧係数と上載圧の関係 (P-A)

考えられる。

#### 参考文献

- 1) 戸栗智仁ほか：高強度地中連続壁コンクリートの側圧特性について，平成5年度土木学会中部支部研究発表会，pp.601-602，1993.1
- 2) 高木健次ほか：LNG地下タンクの高強度地中連続壁の側圧に関する一考察，第54回土木学会年次講演会講演概要集V，pp.140-141，1999.9
- 3) 横井謙二ほか：高強度地下連続壁への高流動コンクリートの適用，大成建設技術研究所報第29号，pp.217-224，1996
- 4) 古川治ほか：地中連続壁の側圧係数 $K_0$ に関する一考察，第55回土木学会年次講演会講演概要集V-194，2000.9
- 5) 藤田淳ほか：地中連続壁コンクリート打込み時の動的圧力，第55回土木学会年次講演会講演概要集V-192，2000.9