

# 論文 地中連続壁コンクリートの側圧低減方法に関する一考察

木村克彦<sup>\*1</sup>・山崎庸行<sup>\*2</sup>

**要旨:**仕切り板方式の地中連続壁、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おり、長さが100mを超える大深度地中連続壁では打込みに長時間をしているのが現状である。このように地中連続壁では側圧を低減し、施工時間の短縮が施工の合理化から重要な課題となっている。一方、コンクリートを自重により脱水・圧密させると流动性を失い、側圧も低下すると考えられる。そこで、本研究では、高強度・高流動コンクリートを用いてコンクリートからの排水方法、打込み速度を要因とした試験を行い、これらが側圧低減に及ぼす影響について検討した。

**キーワード:**地中連続壁、側圧、側圧低減、脱水

## 1. はじめに

仕切り板方式の地中連続壁(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5~6m/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100m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側圧軽減、施工時間の短縮に対する要求が多い。しかし、地中連続壁コンクリートの側圧低減に関する研究はほとんどないのが現状である。

一般に、コンクリートは脱水すると流动性を失い側圧は低下する。脱水手段には①コンクリート中に有孔管などを設置し、打設に伴い脱水されるブリーディング水を排水する、②ペラシート内側に不織布等を設置し、ブリーディングを排水する方法がある。これらの方法は軟弱地盤改良工法として行われているペーパードレンやパイプドレン工法と原理的に同じである。

そこで、本研究では、高強度・高流動コンクリートを用いて①排水方法、②打込み速度を要因とした試験を行い、これらが側圧低減に及ぼ

す影響について検討する。

## 2. 試験概要

### 2.1 コンクリートの配合

材料は、セメントが低熱ポルトランドセメント(密度3.22t/m<sup>3</sup>)、混合剤がポリカルボン酸系高性能AE減水剤および纖維素誘導体系増粘剤、粗骨材が青梅産砕石(表乾密度2.65t/m<sup>3</sup>, FM6.75)、細骨材が(表乾密度2.60t/m<sup>3</sup>, FM2.80)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-1に示す。配合は、設計基準強度51MPaに相当するコンクリートである。

### 2.2 試験項目および製造方法

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、硬化コンクリートは圧縮強度のみ参考に試験した。

コンクリートの製造にはパン型ミキサ(容量100l)を用い、1バッチ当たり65l練りとした。

### 2.3 側圧測定方法

側圧の測定は、図-1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、載荷板にはφ36cmのものを使用した。

\*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)技術研究所 建築研究開発部部長 工修(正会員)

表一 1 コンクリートの配合

Max Size (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 <sup>3</sup>		
					W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3
20	60±5	4.5	35.6	48.1	160	450	820	918	1.40	5.0	75

注) Ad1; 高性能 AE 減水剤 (cw%), Ad2; AE 助剤 (A), Ad3; 増粘剤 (g/m<sup>3</sup>)

表一 2 試験要因の組合せ

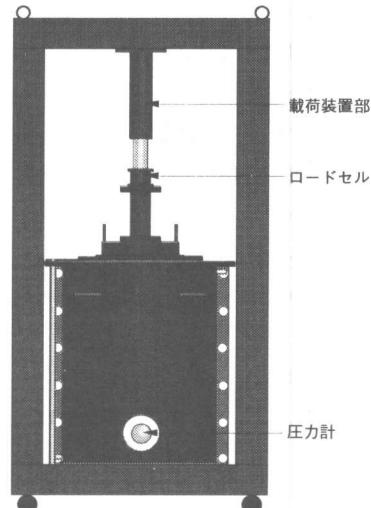
試験 No.	排水方法		排水 管径	R(=π D) (m)	v (m/h)	ti (分)
10	N	上面のみ	0.000	0.00	5.0	20
11	N	上面のみ	0.000	0.00	10.0	10
12	P32	上面+排水管	0.032	0.10	5.0	20
13	P32	上面+排水管	0.032	0.10	10.0	10
14	P60	上面+排水管	0.060	0.19	5.0	20
15	P60	上面+排水管	0.060	0.19	10.0	10

注) v; 打込み速度, ti; 打込み間隔, 排水方法 N; 無排水,  
P32; φ 32mm による排水, P60; φ 60mm による排水

測定は、まずコンクリート槽の底面から 15cm (側圧測定用の土圧計 φ 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 (v) 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、以下、上面) および装置中心に配置した排水管からの脱水量は、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全脱水量とした。排水管は装置下部で塩ビ管に接続し、コンクリート天端と同位置から排水させた。なお、管内に水を充てんしながらコンクリートを装置に投入し、常に管内が飽水状態になるようにした。

#### 2.4 試験の組合せ

側圧に及ぼす要因の影響を調べるために、試験要因として排水方法 (無排水、上面からの排水のみ N, 上面および排水管 P32 および P60 による排水、それぞれ管径 32 および 60mm) および打込み速度 (v=5 および 10m/h) を取上げた。これらの要因の組合せを表一 2 に示す。試験では、1 回あたりの打込み高さを 1.6m、打込み速度を 5m/h および 10m/h とし、それぞれの打込み



図一 1 側圧試験装置

間隔を 20 分および 10 分とする。

#### 2.5 データ整理方法

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、側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。

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

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

$$P_t = L / A + P_{h0} \quad (3)$$

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

ここに、

K, K<sub>0</sub>; 側圧係数

P<sub>h</sub>; 側圧 (kPa)

P<sub>v</sub>; 側圧測定深度での鉛直圧 (kPa)

P<sub>t</sub>; 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)

表-3 側圧測定結果

試験No.	排水方法	v (m/h)	$t_p$ 分	$H_p$ (m)	$P_{t_p}$ (kPa)	$P_{v_p}$ (kPa)	$P_{h,max}$ (kPa)	$K_{o,p}$	$K_{t_p}$	$W_{u,p}$ (cc)	$W_{t,p}$ (cc)	$W_{t,p}$ (cc)
10	N	5	216	19.07	243.0	144.0	114.0	0.791	0.469	742	—	742
11	N	10	143	24.23	305.6	159.0	125.2	0.788	0.410	1287	—	1287
12	P32	5	155	12.58	158.6	—	47.6	—	0.300	384	682	1066
13	P32	10	112	19.31	243.6	—	78.4	—	0.322	663	754	1417
13'	P32	10	120	20.79	262.2	—	83.8	—	0.320	503	758	1260
14	P60	5	65	7.97	101.6	—	50.8	—	0.499	226	438	664
15	P60	10	111	19.33	243.8	—	55.0	—	0.226	356	838	1194

注) 添え字の p ; 側圧が最大値を示したときのそれぞれの値を意味する。

$H$  ; 打込み高さ m,  $t$  ; 試験開始からの経過時間,  $P_t$  ; 上載圧 kPa,  $P_v$  ; 鉛直圧 kPa,  $P_{h,max}$  ; 最大側圧 kPa  
 $K_o$ ,  $K$  ; 側圧係数,  $W_u$  ; 上部脱水量 cc,  $W_t$  ; 下部脱水量 cc,  $W_t$  ; 全脱水量 cc

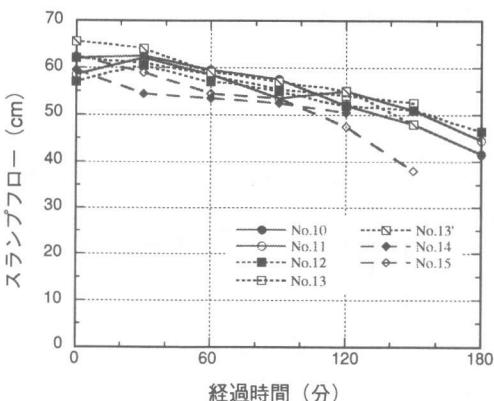


図-2 スランプフローの経時変化

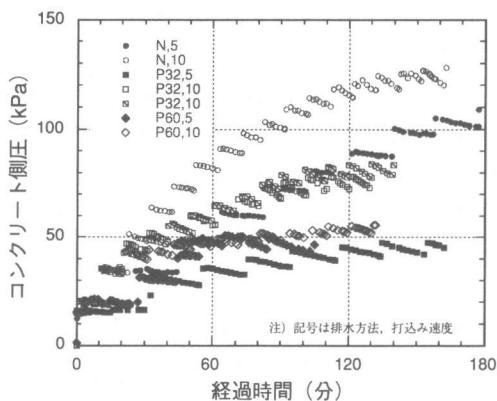


図-3 側圧の経時変化

$P_{h,0}$  ; コンクリート充てん直後の側圧 (kPa)

$\gamma'_c$  ; コンクリートの水中密度

= (コンクリートの気中密度 - 安定液密度)

ただし、安定液密度を  $1.05t/m^3$  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。

なお、図中のNo.は表-2中の試験No.である。練り上がり直後のスランプフローは59~65cm, 50cmフロータイムは5.7~10.8秒、空気量は3.3~4.5%、コンクリート温度は18~22℃である。

圧縮強度の試験結果は、材齢7日で36.1MPa、材齢28日で61.5MPaであった。

#### 3.2 側圧測定結果

それぞれのシリーズにおける側圧の測定結果

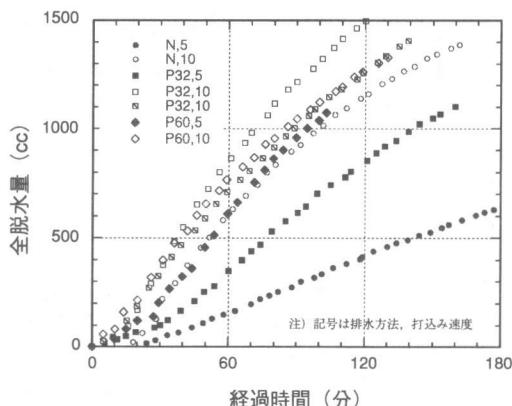


図-4 脱水量の経時変化

を表-3および図-3に示す。なお、図中の記号の色塗りは  $v=5m/h$ 、白抜きは  $v=10m/h$  を意味し(以下の図に共通)、表中には打込み高さ、鉛直圧などの測定値も併記した。無排水で、 $v=5m/h$  および  $10m/h$  の No.10 および No.11 の側圧の最

大値は、114.0kPaおよび125.2kPaである。これに対して排水した場合には、側圧は約50～85kPaとなり、無排水の約45～70%になっており、排水により側圧を大きく低減できることが認められた。

### 3.3 脱水量測定結果

それぞれの排水条件における脱水量の測定結果を表-3および図-4に示す。表中の $W_u$ ,  $W_t$ および $W_i$ はそれぞれ上面および排水管からの脱水量、全脱水量（上面からの脱水量+排水管からの脱水量）で、無排水の場合には $W_i=0$ であるので $W_t=W_u$ となる。排水ありの場合には、載荷後約10分以内に脱水が始まっているが、無排水の場合には約20分以後から脱水が始まっている。打込み速度および排水管径が大きいほど脱水量も多くなっている。

### 3.4 側圧係数

側圧から逆算して求めた側圧係数Kおよび $K_0$ の経時変化を図-5に示す。

$v=5\text{m}/\text{h}$ における側圧係数Kは、各載荷ステップの進行に伴い減少するとともに、荷重一定の状態でも減少しており、排水管径による側圧係数Kの減少は大差ないようである。 $v=10\text{m}/\text{h}$ では、排水管径の大きさにより側圧係数Kの減少傾向は異なり、径が大きいほど減少は大きい。また、載荷間隔が短いために $v=5\text{m}/\text{h}$ に比べて側圧係数の経時変化は滑らかに推移している。

無排水では、側圧係数 $K_0$ の経時変化は、約60分間はいずれの場合にも差が小さく、その後の載荷ステップでは打込み速度により差が生じている。また、載荷初期の側圧係数 $K_0$ は、ほぼ1.0でコンクリートが流動体として取扱えることを示している。側圧係数Kの場合には、充てん高さ、コンクリート密度などの違いなどにより差が生じるが、 $K_0$ は側圧と側圧測定位置の鉛直圧の比であり、前述のようなばらつきの要因が少なくなることが予想できる。

### 3.5 側圧および側圧係数に及ぼす要因の影響

#### (1) 排水の有無および排水方法

排水の有無、排水方法が側圧と脱水量の関係

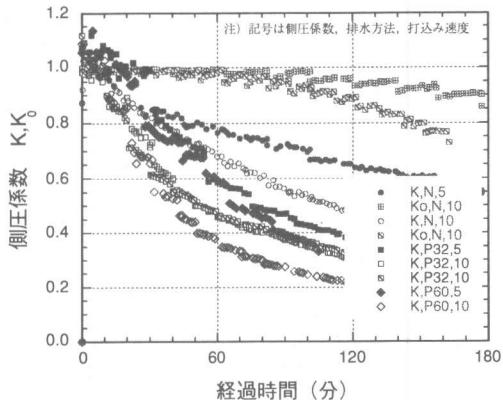


図-5 側圧係数の経時変化

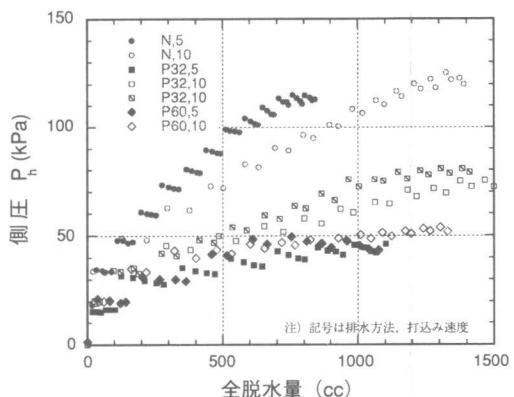


図-6 脱水量と側圧の関係

に及ぼす影響について考察する。図-6に打込み速度別に側圧と脱水量の関係を示す。いずれの打込み速度においても排水の有無により側圧は大きな差があることから排水の影響を大きく受けていることがわかる。しかし、 $v=5\text{m}/\text{h}$ では排水方法がP32, P60ではこれらの関係に大差なく、排水方法の影響が小さい。これに対して、 $v=10\text{m}/\text{h}$ では、同一脱水量でも排水管径が大きいほど側圧は小さくなっている。排水方法間における側圧の差は、打込み速度によっても異なり、側圧は打込み速度の影響も同時に受けていると考えられる。なお、同一条件下のNo.13および13'のばらつきは載荷時間、載荷荷重、コンクリートの品質など試験上の差によって生じたと考えられる。

脱水による側圧の最大値の低減率は、 $v=5\text{m}/\text{h}$

では排水管径による差は小さく、いずれも約50%、 $v=10\text{m/h}$ でP32で約35%，P60で約50%である。これらの結果から $v=10\text{m/h}$ でも、P60の排水管を用いれば側圧の最大値は、無排水の場合の約50%に低減でき、これらの最大値は打込み速度、排水方法などにより異なる。さらに、図-6から脱水量がある値で側圧は最大値を示している。このように、側圧は脱水の影響を大きく受け、側圧低減に脱水による効果があることがわかる。

排水方法が側圧係数と脱水量の関係に及ぼす影響について考察する。打込み速度別に側圧係数Kと脱水量の関係を図-7に示す。 $v=5\text{m/h}$ の場合には、側圧係数と脱水量の間に排水管径に対する明確な傾向はなく、とくにP60の側圧係数と脱水量の関係は、無排水の場合とほぼ同じ傾向を示している。 $v=10\text{m/h}$ の場合には側圧係数と脱水量の間にその影響が幾分認められる。

## (2) 打込み速度

打込み速度が側圧および側圧係数に及ぼす影響について考察する。図-6に示すように同じ全脱水量に対する側圧は、打込み速度が大きいほど無排水では小さく、P32では大きく、P60では差がない。これらの関係では、打込み速度の影響が排水方法により一様でなく、打込み速度と排水方法の両方の影響を同時に受けている。また、排水方法間の脱水量の差は、打込み速度が大きいほど、さらに排水管径が大きいほど小さい。このように装置の大きさとの関係からP60では脱水の影響が上限に近いと予想され、側圧に差が生じにくかったと思われる。

側圧を最大側圧で除した無次元化側圧と全脱水量の関係を図-8に示す。最大側圧時の脱水量は、打込み速度が大きいほど大きくなり、いずれの場合にも排水方法による影響は小さい。このことから打込み速度が同一であれば、排水条件にかかわらず最大側圧時の脱水量がほぼ同じ値となることがわかる。軟弱粘性土の場合にも含水比がせん断強度を一義的に決定し、含水比が小さいほどせん断強度が大きくなると言わ

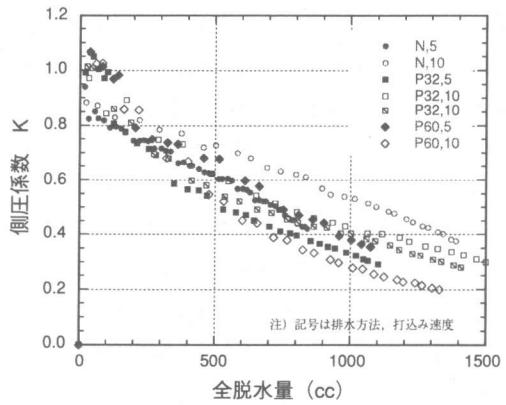


図-7 脱水量と側圧係数の関係

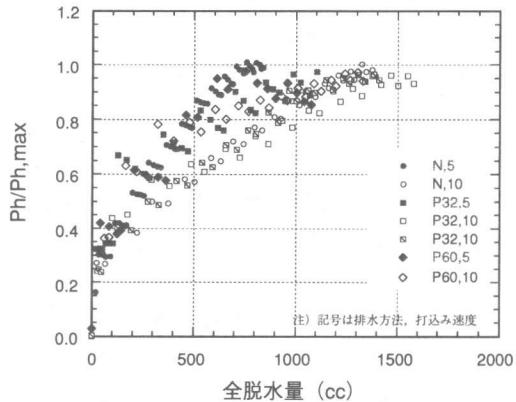


図-8 脱水量と無次元化側圧の関係

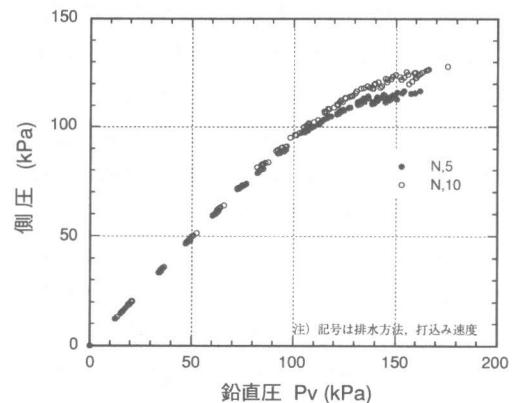


図-9 鉛直圧と側圧の関係

れており<sup>4)</sup>、このことからも予想できる。このように、最大側圧は水和の進行ではなく、まだ固まらないコンクリートの脱水による変形・強度特性の変化などの影響を強く受けており、コンクリートの品質、打込み速度が同じであれば排

水条件によらずほぼ一定の脱水量で側圧は最大値を示すことがわかる。よって、打込み速度が大きくて脱水速度を大きくできれば最大側圧を小さく制御できることがわかる。

つぎに、側圧係数に及ぼす打込み速度の影響は、図-7に示すように打込み速度が大きいほど、無排水およびP32の場合には同一脱水量に対する側圧係数は大きいが、P60の場合には逆の傾向を示している。これは、試験のばらつきもあるが、P60の方が配水管周長Lが大きく、前述のように打込み速度が大きい方が脱水量の増加に伴う側圧低下が大きいためと考えられる。

### (3) 鉛直圧との関係

側圧と鉛直圧 $P_v$ （鉛直圧）の関係を図-9に示す。側圧と鉛直圧の関係は、打込み速度による差も小さく、打込み速度、コンクリート品質のばらつきなどの影響も小さい。しかし、鉛直圧が約100kPa以上になれば打込み速度が大きいほうが幾分同じ鉛直圧に対する側圧は大きくなっている。このことから側圧と鉛直圧の関係は、同じ品質のコンクリートであれば経過時間、打込み速度の影響を受けにくいことが認めらる。

### (4) 最大側圧およびその時の側圧係数

最大側圧の平均値に及ぼす各要因の影響についてScheffeの方法で分散分析を行い、その結果を表-4に示す。排水方法については、無排水とP32およびP60の間には5%の危険率で有意差が認められた。なお、打込み速度で分割すればそれぞれのデータ数が1ないし2となり分析の意味が小さくなる。打込み速度については、有意な差が得られなかった。これは、排水方法によって有意な差があることからも分かるように排水方法による分割を行わずに分析したためこれらがばらつきになったためと考えられる。

最大側圧時の側圧係数 $K_p$ は、分散分析の結果いずれも有意にならなかった。そこで、ここでは表-3の結果について比較を行う。 $K_p$ は、表-3に示すように打込み速度10m/hの場合にはいずれも排水により小さくなっている。5m/hの場合にはP32では小さいが、P60はNより幾分

表-4 分散分析結果

カテゴリー	要因組合せ	平均値の差	棄却値	p値	判定
排水方法	N・P32	49.7	49.1	0.048	S
	N・P60	66.7	53.8	0.025	S
	P32・P60	17.0	49.1	0.498	-
打込み速度	V5・V10	-14.8	64.3	0.580	-

大きくなっている。これは、打込み速度が5m/hと小さい場合には、P60では脱水の影響がP32よりも大きく、早く側圧が最大値を示し、上載荷重に対する比率が大きくなるためと考えられる。NとP32を比べれば、排水の影響で側圧が小さくなることによってP32の側圧係数も小さくなっている。このように $K_p$ は、排水の影響を受けるとともに打込み速度の影響も受けている。

## 4.まとめ

地中連続壁の側圧に及ぼす要因として排水方法、打込み速度を取上げ、その影響について検討した。そして得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 側圧は排水の影響を大きく受け、側圧低減に排水の効果が認められた。
- (2) 打込み速度が同一であれば、排水条件によらず最大側圧時の脱水量がほぼ同じ値となる。
- (3) 側圧と鉛直圧の関係は、打込み速度による差も小さく、打込み速度、コンクリート品質のばらつきなどの影響も小さい。
- (4) 最大側圧の平均値は、無排水とP32およびP60間で5%の危険率で有意差が認められたが、打込み速度による有意差は認められなかった。

## 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) 土質工学会：土質基礎工学ライブリーNo.37、軟弱地盤の理論と実際、pp.10-11、1992.6