

# SSS工法におけるトレミーコンクリートの側圧に関する一研究

奥村忠彦

## § 1. まえがき

SSS工法 (Shimizu Substructure System) は地盤を長方形断面に掘削し、ペントナイト溶液 (泥水) を満たして鉄筋かごを挿入した後に、トレミー工法で水中コンクリートを打込んで、連続地中壁を構築する工法である。軟弱地盤における建築物の基礎、土木構造物、とくに貯油タンク、LNGタンクなどに数多く適用されてきた。

SSS工法は図-1に示すA、B型があるが、最近では、地盤によって片押し型も検討されるようになった。SSS工法におけるトレミーコンクリートの打込み速度は4~10m/hrと速いので、仕切板には大きな側圧が作用すると思われる。仕切板の設計、片押し型の横筋の付着性状などを検討するためには、まず泥水中におけるコンクリートの側圧を明らかにする必要がある。

また、地下構造物も巨大化してきて最近では地下100mの深さまでSSS工法を応用することも考えられている。このように巨大化すると、仕切板、キャンパスの取付け方法なども経済的に設計する必要が生じ、そのため

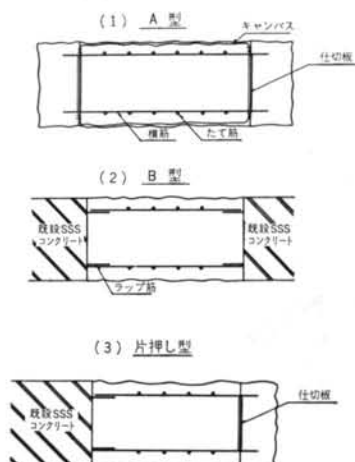


図-1 SSS工法の型式

にもコンクリートの側圧を合理的に算定する方法が必要になってきた。

しかしながら、既往の研究ではトレミーコンクリートの側圧算定方法に関する研究は皆無で、側圧の実測値もあまりないのが現状である。

そこで、本研究では、まず実際のSSS工法を適用した工事現場でコンクリートの側圧を実測し、続いてコンクリートのせん断特性から導いた側圧算定式と比較検討を行なった。また、現行のSSS工法における側圧の設計値の妥当性について検討を行なった。

本研究は、泥水中におけるトレミーコンクリートの側圧に関するものであるが、水中および海水中に打込むトレミーコンクリートの側圧を検討する場合にも参考になるものと思われる。

## § 2. A現場 (建築) における現場測定結果

### 2.1 計測方法

A現場では、A型のSSS壁について現場測定を昭和50年12月25日の寒中に行なった。

コンクリートの側圧測定は、土圧計と鉄筋計 (横筋) の2方法で行なった。

SSS壁は図-2に示すように幅0.8m、長さ2m、深さ25mである。

土圧計は、(1)受圧面の剛性が高い、(2)受圧面が粗骨材の最大寸法25mmに対して十分に大きい、(3)深さ25mの泥水中に沈設する、ことを考慮して選定した。その結果、共和電業製BE-5KE (受圧面直径160mm) を用いることにした。土圧計は、写真-1に示すように仕切板から20cm内側に取付け、コンクリート中に埋込むように設置した。

仕切板に実際に作用している圧力を測定するために、鉄筋計を横筋に取付けた。横筋がD16であるので、鉄筋計は共和電業製BF-16Aを用いた。

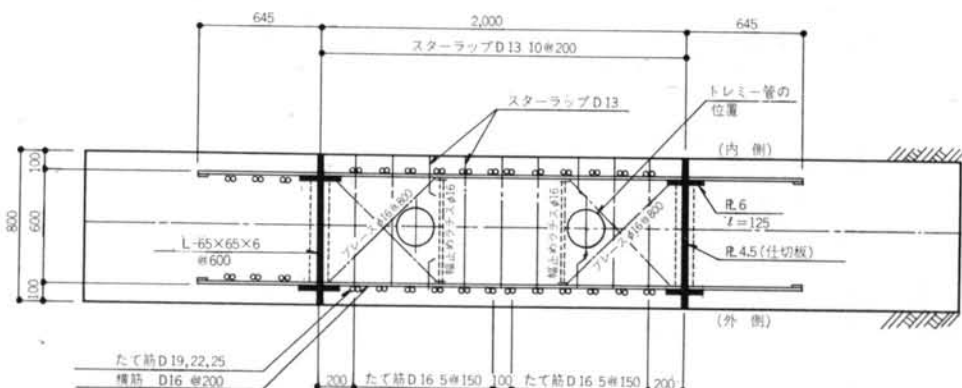


図-2 A現場におけるA型SSS壁の平面図



写真-1 計測器の取付け状況 (A現場)

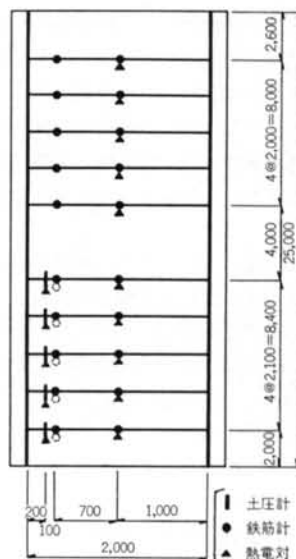
コンクリートの側圧は、温度の影響を大きく受けるので、銅-コンスタンタン熱電対をコンクリート中に埋込んで、内部温度の測定を行なった。

各計測器の取付け位置は図-3に示すとおりである。

土圧計および鉄筋計の測定は、コンクリート打込み中および打込み後2時間は15分間隔に、2～6時間は30分間隔、6～12時間は1時間間隔に行なった。

## 2.2 品質管理試験結果

コンクリートはレデーミクストコンクリートで、容量6m<sup>3</sup>のトラックアジテーターで7台、39m<sup>3</sup>を4時間20分で打込んだ。運搬時間の平均は29分であった。平均で1時間当たり9m<sup>3</sup>打込み、打込み速度は5.66m/hrであった。



注) ○は同じ位置の反対側の横筋に取付けた鉄筋計を示す。

図-3 A現場における計測器の取付け位置図

コンクリートの配合は表-1のようであった。

コンクリートの品質管理試験を行なった結果、スランブは平均で20.5cm、空気量は3.3%、コンクリート温度は寒中であるために12.6℃と低かった。圧縮強度は、材令14日で316kg/cm<sup>2</sup>、28日で359kg/cm<sup>2</sup>であった。また、コンクリートの比重は、材令28日で2.35であった。

ブロッカー貫入抵抗試験を行なって、コンクリートの

項目	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	S	G	AE剤
A 現場 せん断実験	25	20±1.5	4±1	55	42.7	182	331	788	987	0.085
B 現場	25	18±2.5	3±1	47	41.9	174	370	759	1064	0.148

表-1 コンクリートの配合

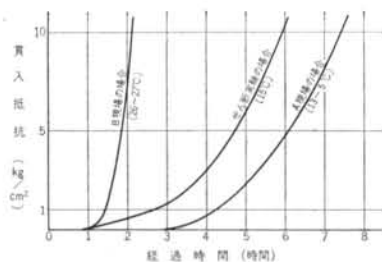


図-4 プロクター貫入抵抗試験結果

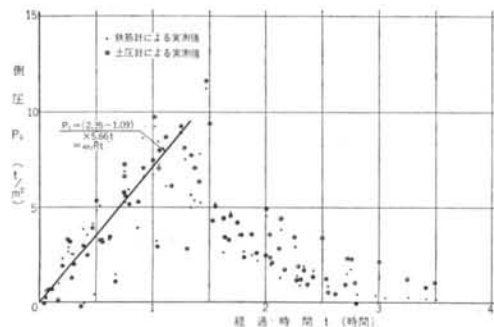


図-5 コンクリートの側圧の経時変化(A現場)

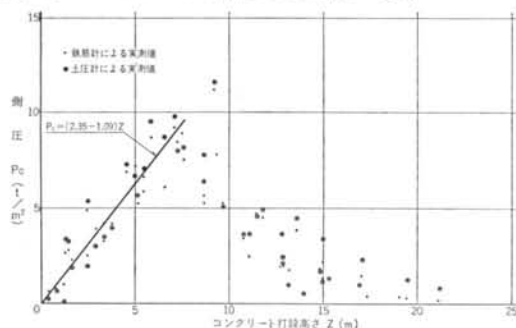


図-6 コンクリートの側圧と打設高さの関係(A現場)

凝結硬化速度も試験した。その結果は図-4に示すように、貫入抵抗が  $1 \text{ kg/cm}^2$  に達するのは4時間15分であった。

泥水の比重は平均で1.09であった。

### 2.3 コンクリートの側圧の測定結果

コンクリートの側圧の経時変化は図-5、側圧とコンクリートの打設高さとの関係は図-6のようになって、最大側圧に達するまではほぼ直線的に側圧が増大した。図-5、6に示す直線は、コンクリートを流体と考えた場合の計算値であるので、最大側圧に達するまではコンクリートの側圧はほぼ流体圧で近似できるようである。

次に、各計測器によって測定した最大側圧は、表-2のように平均で約  $9 \text{ t/m}^2$  と大きかった。寒中でコンク

計測器	最大側圧		側圧が0に低下する経過時間 (時:分)
	経過時間 (時:分)	側圧 ( $\text{t/m}^2$ )	
土圧計	1:11	7.95 11.60	2:54
鉄筋計	1:11	6.13 11.17	3:09
平均	1:11	9.02	3:02

表-2 コンクリートの最大側圧(A現場)

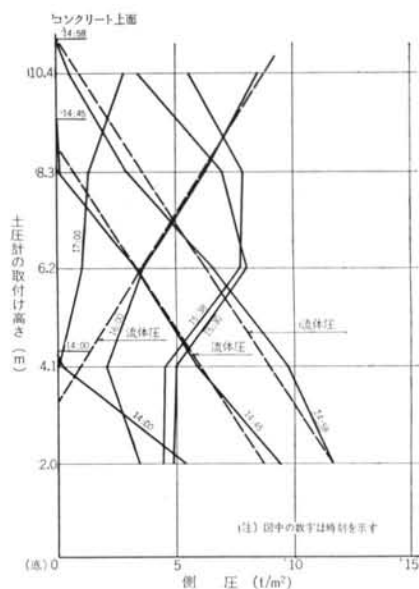


図-7 コンクリートの側圧の分布(A現場)

リート温度が  $12.6^\circ\text{C}$  と低く、打込み速度が  $5.66 \text{ m/hr}$  と速いためと考えられる。また、最大側圧に達するのは計測器にコンクリートが到達後1時間11分であった。

最大側圧に達した後、側圧は減少し、約3時間後に側圧が0まで低下した。鉄筋計の場合、コンクリートの側圧が大きくなれば鉄筋が伸びて仕切板が外側に変位するが、3時間後は鉄筋が縮んで仕切板が元にもどることが示されたのである。これは§5.に示すように、セメントの水和に伴う収縮によってコンクリートが収縮することが主な原因と考えられる。

計測器による相違をみると、鉄筋計による実測値の方が土圧計の場合より少し小さいようであった。以後は、土圧計による実測値についてのみ論じる。

### 2.4 コンクリートの側圧の分布

土圧計は、図-3のように高さ方向に5段に設置したので、ある時刻毎の側圧の分布を図示すると図-7のよ

うである。すなわち、側圧の分布は側圧が増大する場合も減少する場合もほぼ直線的で、かつ流体圧分布と考えるとよい結果であった。

## 2.5 コンクリートの内部温度

外気温、深さ25mの土中温度、深さ23m（底から2mの高さ）におけるコンクリートの内部温度の測定結果を図-8に示す。

土の温度は、深くなると約17℃と一定であった。

コンクリートの温度は材令2日で28.8℃と最高温度に達し、約15℃の温度上昇であった。塚山氏が提案したコンクリートの断熱温度上昇算定式によると $C=331 \text{ kg/m}^3$ の場合39.2℃となり、実測値の2倍以上である。しかし、塚山氏が実際マスコンクリートを想定して壁厚を変えて内部温度上昇を計算した結果、壁厚80cmの場合約17℃の温度上昇であって、本測定結果と良い一致をみた。したがって、塚山氏の計算式によってSSS壁の内部温度も推定できるものと思われる。

しかし、側圧が最大に達し、0に低下するまでの間の温度上昇は1.2℃であり、コンクリート温度が側圧に及ぼす影響は無視できるほど小さいと考えられる。

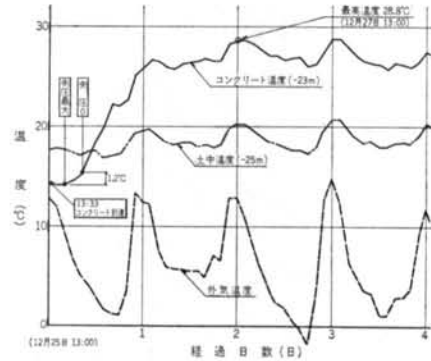


図-8 温度測定結果 (A現場)

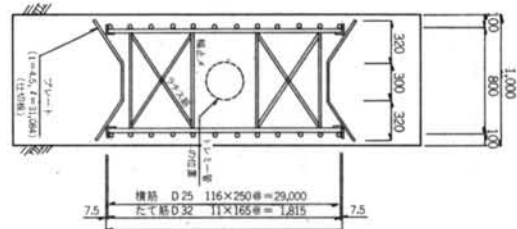


図-9 B現場におけるA型SSS壁の平面図

## § 3. B現場 (土木) における現場測定結果

### 3.1 計測方法

B現場においても、A型のSSS壁について現場測定を昭和51年10月21日に行なった。コンクリート打込み時の外気温は約26℃、コンクリート温度が25.5℃で、A現場に比べて比較的高い場合の測定を行なった。

SSS壁は図-9に示すように幅1m、長さ1.83m、深さ35mである。

コンクリートの側圧の測定は、§2.に示したA現場と同じ土圧計を用いて行なった。鉄筋計は小さめの側圧が実測されるので、B現場では使用しなかった。

コンクリートの内部温度はA現場と同様に測定した。

各計測器の取付け位置は図-10に示すとおりであり、土圧計の測定はA現場と同様な時間間隔で行なった。

### 3.2 品質管理試験結果

コンクリートはレデーミクストコンクリートで、容量6m<sup>3</sup>のトラックアジテーターで10台、51m<sup>3</sup>を6時間35分で打込んだ。平均で1時間当たり7.7m<sup>3</sup>打込み、打込み速度は4.68m/hrであった。

コンクリートの配合は表-1に示すようで、A現場の

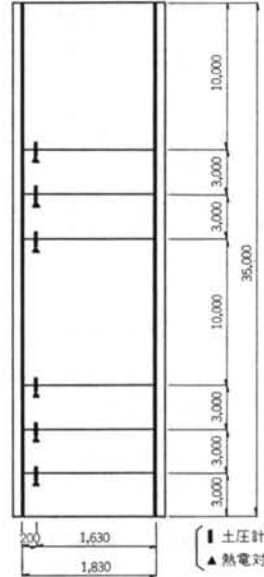


図-10 B現場における計測器の取付け位置図

場合よりもいくぶん富配合であった。

コンクリートの品質管理試験を行なった結果、スランブは平均で17.8cm、空気量は3.7%、コンクリート温度は25.5℃と高かった。

プロクター貫入抵抗試験を行なった結果は図-4のよう、貫入抵抗が1kg/cm<sup>2</sup>に達するのは1時間25分と速

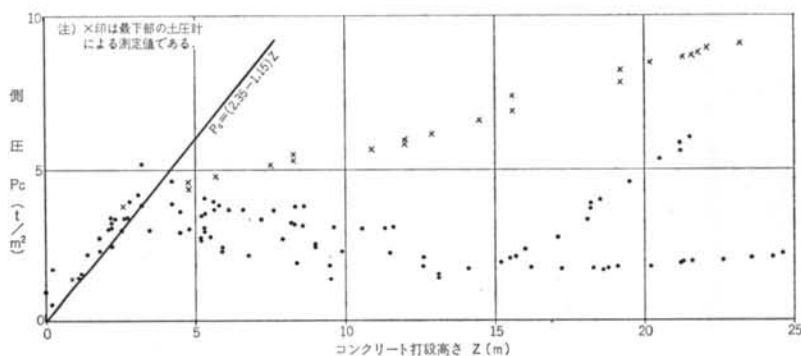


図-11 コンクリートの側圧と打設高さの関係 (B現場)

土圧計の位置	最大側圧 (1)		最大側圧 (2)	
	経過時間 (時:分)	側圧 (t/m <sup>2</sup> )	経過時間 (時:分)	側圧 (t/m <sup>2</sup> )
底から 3 m	—	—	8:21	10.44
6 m	0:57	3.60	14:12	5.99
9 m	0:44	4.00	15:36	12.95
19 m	0:45	4.63	15:15	7.30
22 m	1:05	4.17	15:05	10.29
25 m	0:27	3.37	13:55	4.30
平均	0:48	3.95	13:44	8.55

表-3 コンクリートの最大側圧 (B現場)

かった。

泥水の比重は平均で1.15であった。

### 3.3 コンクリートの側圧の測定結果

コンクリートの側圧とコンクリートの打設高さとの関係は図-11のようになって、A現場の場合と同様に、最大側圧に達するまではほぼ直線的に側圧が増大し、流体圧とみなせるようであった。

しかし、A現場の場合と異なるのは、最大側圧に達した後に側圧が少し減少し、その後再度側圧が増大する傾向がみられることである。この原因の1つとして、温度が高いために内部温度の上昇も速く、温度による膨張がセメントの水和に伴う収縮よりも大きくなったことが考えられる。2度目に最高圧力に達するのは表-3に示すように約14時間後であって、その時点ではコンクリートの硬化はかなり進行し、十分に自立できる状態であると思われる。したがって、コンクリートの側圧としては最初に最大に達した時の値を考えればよいと思われる。

最大側圧は表-3に示すように約4 t/m<sup>2</sup>と小さく、経過時間も約50分と短かった。これは温度が25.5℃と高かったためと考えられる。

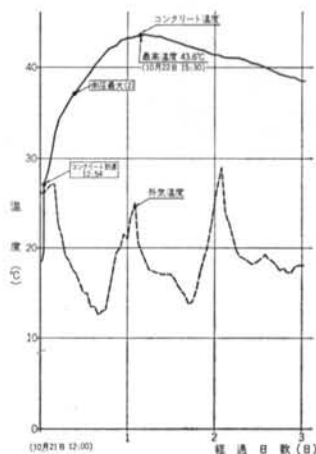


図-12 温度測定結果 (B現場)

### 3.4 コンクリートの内部温度

外気温、深さ32m (底から3mの高さ)におけるコンクリートの内部温度の測定結果を図-12に示す。

土の温度は約18℃で、A現場の場合と大差なかった。コンクリートの内部温度の最高は43.6℃であり、18.1℃の温度上昇であった。塚山氏の提案式による断熱温度上昇<sup>1)</sup>は43℃であって、実測値の2倍以上である。しかし、塚山氏が計算した壁厚80cmのマスコングクリートの温度上昇17℃に比べて、本実測値はいくぶん高いが、A現場の場合より単位セメント量が40kg/m<sup>3</sup>多く、打込み時の温度が約13℃も高いことを考慮すれば妥当であると思われる。

## § 4. 若材令コンクリートのせん断実験

コンクリートの側圧を算定する手法は数多く<sup>2),3)</sup>提案されているが、ほとんどが実測値に基づいた実験式であ



写真-2 三軸圧縮強度試験機

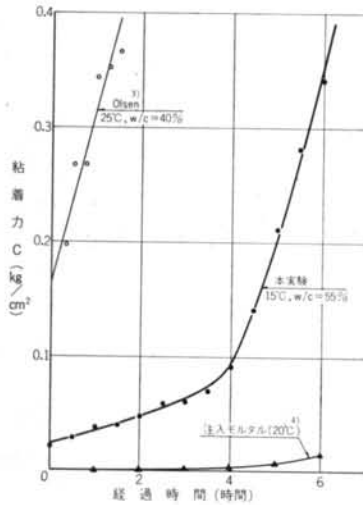


図-13 粘着力の経時変化

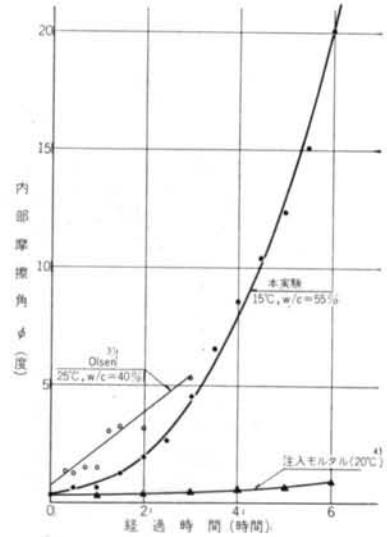


図-14 内部摩擦角の経時変化

って、現論的にはOlsen<sup>3)</sup>がレオロジー定数を応用したアプローチを試みているのみである。すなわち、若材令コンクリートの三軸圧縮強度試験を行なって、粘着力および内部摩擦角の経時変化を求め、土圧論の手法を用いて側圧を算定する方法である。しかし、Olsenは温度を25℃、配合を一定にして実験しているため、Olsenのデータを本研究に応用することは困難である。

筆者らは、プレバッキングコンクリートの側圧算定式を確立する場合に、Olsenと同様の手法を用いて、この手法の妥当性を確かめているので<sup>4),5)</sup>、SSS工法におけるトレミーコンクリートの側圧算定の場合にもこの手法を採用することにした。

そこで、まず若材令コンクリートのせん断実験を行なって、若材令コンクリートの粘着力および内部摩擦角の経時変化を求めた。

せん断試験方法は三軸圧縮強度試験とし、A現場の実測値と比較するために、コンクリートの配合および温度はA現場と同じにした。

#### 4.1 使用材料

セメントは日本セメント(株)埼玉工場製の普通ポルトランドセメント、細・粗骨材は鬼怒川産川砂、川砂利を用いた。

混和剤は山宗化学(株)製のヴィンゾルを用いた。

練りませ水は東京都上水道水とした。

#### 4.2 試験方法

##### (1) 供試体の作製方法

コンクリートを練りませて、スランブ、練り上がり温度、空気量を試験した後に、温度15℃、相対湿度80%の養生室でプロクター貫入抵抗試験用試料、三軸圧縮強度試験用供試体を作製し試験材令までそのまま養生した。

##### (2) 三軸圧縮強度試験方法

供試体は直径7.5cm、高さ15cmの両開き円柱形型わくの内側に厚さ0.4mmのゴムスリーブを張りつけ、底板を取付けた後に、圧縮強度試験用供試体の場合と同様に、JIS A 1132に準じて作製した。

試験材令の約15分前に、写真-2に示すような三軸圧縮強度試験機に供試体をセットした。側圧( $\sigma_3$ )は水圧で加え、荷重方法はひずみ制御とし非圧密・非排水(UU)試験とした。

試験方法は既往の研究<sup>6)</sup>を参考にし、予備実験を行なって決定した。ひずみ速度は1%/min、最大ひずみは20%、側圧は0.2、0.6、1.0kg/cm<sup>2</sup>とした。

各側圧毎に最大主応力差( $\sigma_1 - \sigma_3$ )の経時変化を求め、各材令ごとにモールの応力円を描き、包絡線を引くと、縦軸の切片から粘着力、包絡線の勾配から内部摩擦角を求めることができる。

#### 4.3 コンクリートの品質管理試験結果

コンクリートの配合は表-1に示すように、A現場の場合と同じにした。

品質管理試験を行なった結果、スランブは平均で19.7cm、空気量は4.3%、練り上がり温度は12.8℃であった。

プロクター貫入抵抗試験結果は図-4に示すように、A現場の場合より凝結硬化速度はいくぶん速かった。こ

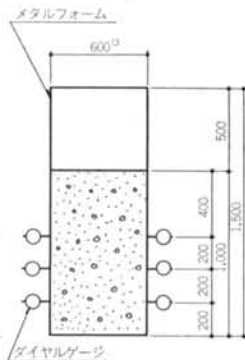


図-15 型わくおよびダイヤルゲージの配置

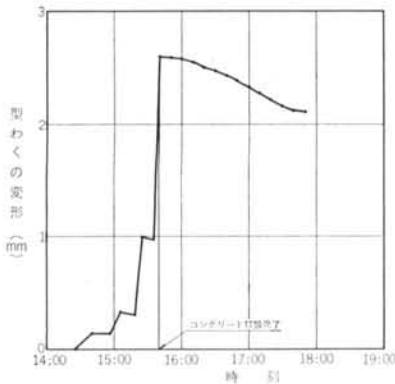


図-16 型わくの変形の経時変化

の原因として、A現場では外気温で養生したために養生温度が低かったことが考えられる。

#### 4.4 粘着力および内部摩擦角の経時変化

若材令コンクリートの三軸圧縮強度試験を行なって、粘着力および内部摩擦角の経時変化を求めた結果は図-13、14に示すようであった。

練りませ直後の粘着力および内部摩擦角は  $22 \text{ g/cm}^2$ 、 $0.34^\circ$  であって、既往の研究結果の範囲  $10 \sim 1000 \text{ g/cm}^2$ 、 $1 \sim 40^\circ$  のなかにほぼ入っており、妥当な結果といえる。

経時変化をみると、Olsenの結果に比べてかなりゆるやかに増大している。これは、温度、配合が異なるためと考えられる。

### § 5. コンクリート打込み後の型わくの変形について

SSS工法におけるトレミーコンクリートの側圧を現

場で実測した結果、側圧が最大値に達した後低下する現象がみられた。このような現象が、通常の型わくの場合にも生じるかどうかを確かめるために本実験を行った。

#### 5.1 実験方法

型わくはメタルフォームで作製し、図-15に示すように断面が  $60 \text{ cm}$  平方、高さ  $1.5 \text{ m}$  とした。

型わくの変形を測定するために、2面にダイヤルゲージを設置した。

コンクリートの配合はせん断実験の場合と同様にして、コンクリートの打込み中および打込み後の型わくの変形を測定した。

#### 5.2 型わくの変形について

コンクリートのスランプは  $22.2 \text{ cm}$ 、空気量  $3.6\%$ 、練り上がり温度  $13.8^\circ \text{C}$  で、せん断実験の場合と大差なかった。

図-15に示す中央部のダイヤルゲージの測定結果は図-16のようで、コンクリートの打込み終了後は型わくの変形が元にもどる傾向を示した。本実験の場合は高さが低いためにコンクリートの側圧が最大値にまでならず、コンクリート打込み終了後ただちに型わくの弾性変形が元にもどろうとするとともに、セメントの水和反応による収縮<sup>7)</sup>によってコンクリートが収縮するために、型わくの変形が元にもどる傾向を示すと考えられる。

したがって、SSS工法における仕切板の変形も同様と考えられ、仕切板の変形が元にもどる傾向を示すことの妥当性が本実験によって確かめられた。

### § 6. コンクリートの側圧の算定方法

コンクリートが半無限状に打込まれる場合を考えると任意の深さにおけるコンクリートの水平方向の応力、すなわち側圧は次式<sup>8)</sup>で表わされる。

$$P_e = K_t W_c Z \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $P_e$ : コンクリートの側圧 ( $\text{t/m}^2$ )

$$K_t: \text{側圧係数} = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{W_c Z} \tan \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$W_c$ : コンクリートの単位容積重量 ( $\text{t/m}^3$ )

$Z$ : 着目点までの深さ (m)

$C$ : コンクリートの粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )



項	目	A現場の場合	B現場の場合
実測値	打込み速度 $R(\text{m/hr})$	5.66	4.68
	コンクリート温度 $T(^{\circ}\text{C})$	12.6	25.5
	最大側圧 ( $\text{t/m}^2$ )	7.95~11.60	9.45, 3.37~4.63, 3.95
SSS工法設計値 ( $\text{t/m}^2$ )		10	
本四公団トレミー工法設計値 ( $\text{t/m}^2$ )		10	
土木学会柱式(ACI式と同じ)( $\text{t/m}^2$ )		13.7	9.0
計算値 ( $\text{t/m}^2$ )		11.1	—

注1)  $P_e = 0.8 + \frac{80R}{T+20} \leq 15 \text{ t/m}^2$ , または  $2.4H \text{ t/m}^2$

$R$ : 打込み速度(m/hr),  $T$ : 温度( $^{\circ}\text{C}$ ),  $H$ : 打設高さ(m)

2) 最大側圧は, 土圧計による実測値である.

表一4 コンクリートの側圧の比較

$\phi$ : コンクリートの内部摩擦角( $^{\circ}$ )

$K_t$ (側圧係数と呼ぶ)はコンクリートの $C$ ,  $\phi$ ,  $W_e$ ,  $Z$ の関数であり,  $Z$ は $R \cdot t$  ( $R$ : 打込み速度(m/hr),  $t$ : 経過時間(時間))である.

コンクリートの $C$ ,  $\phi$ の経時変化は, §4. に示したの式(1)より側圧が計算できる.

そこで, §2. に示したA現場における実測値と式(1)による計算値を比較すると表一4のようで, 計算値は実測値の上限を推定できることが示された. しかし, 式(1)によって最大側圧に達する時間を計算すると3時間となり実測値の約2倍であった. したがって, 式(1)では側圧の経時変化までは推定できず, 最大側圧の推定のみができると思われる.

表一4に土木学会コンクリート標準示方書に示されている柱の式による計算値を示したが, 式(1)による計算値よりいくぶん大きく, 安全側にあると思われる.

また, SSS工法の設計値, 本州四国連絡橋公団におけるトレミーコンクリートの側圧設計値は, いずれも $10 \text{ t/m}^2$ としているが, 打込み速度が速く, 温度が低い場合でも, ぎりぎりではあるが実測値の平均を上回っている. 温度が高い場合には安全すぎる値である.

以上のことを総合的に判断すると, SSS工法における泥水中のトレミーコンクリートの側圧設計値としては $10 \text{ t/m}^2$ としてよいが, 厳密に推定する必要がある場合には式(1)によって算定してもよいと思われる.

仕切板を設計する場合にはコンクリートの側圧の分布が問題となるが, 側圧最大値を $10 \text{ t/m}^2$ とし, 上昇および減少する勾配を流体圧とする三角形分布と考えてよいと思われる.

## §7. まとめ

SSS工法における泥水中のトレミーコンクリートの側圧を検討するために, 2現場で側圧を実測してデータを集めるとともに, 若材令コンクリートのせん断特性から側圧を算定する手法を試みた.

実験の範囲内で次のことがいえると思う.

(1)泥水中のコンクリートの側圧も温度による影響が大きく, A現場の場合 $14^{\circ}\text{C}$ で最大側圧は $7.95 \sim 11.60 \text{ t/m}^2$  平均 $9.45 \text{ t/m}^2$ であるが, B現場の場合 $25.5^{\circ}\text{C}$ で最大側圧は $3.37 \sim 4.63 \text{ t/m}^2$ , 平均 $3.95 \text{ t/m}^2$ であった.

(2)最大側圧に達するまではほぼ流体圧と考えられる. 最大側圧に達した後は, コンクリートの硬化に伴う収縮によって側圧が減少する.

(3)側圧が最大に達するまでの間は内部温度の上昇は小さく, 温度上昇が側圧に及ぼす影響は無視できると考えられる.

(4)三軸圧縮強度試験によって, 若材令コンクリートの粘着力, および内部摩擦角の経時変化を求めることができる.

(5)トレミーコンクリートの最大側圧も次式によって推定できることが示された.

$$P_e = K_t W_e Z \quad \dots\dots(1)$$

A現場における最大側圧の実測値は $7.95 \sim 11.60 \text{ t/m}^2$ であり, 式(1)による計算値は $11.1 \text{ t/m}^2$ であって, 計算値は実測値の上限を推定できる.

(6)寒中で, 打込み速度の速い場合でも, 最大側圧の平均は $9.45 \text{ t/m}^2$ であって, SSS工法における側圧の設計値は $10 \text{ t/m}^2$ であり, いくぶん実測値を上回っている.

(7)したがって, 仕切板などの設計値としては現行の $10 \text{ t/m}^2$ でよいが, 厳密に推定する必要がある場合には式(1)によって算定するとよい.

また, 側圧の分布は三角形分布で, 最大側圧を $10 \text{ t/m}^2$ とし, 勾配を流体圧とすればよいと思われる.

(8)現在の設計値の妥当性が明らかになったので, 本研究はSSS工法のみならず, トレミーコンクリートの応用に役立つものと思われる.

しかし, 数少ないデータからの結論であるので, 今後とも機会を見つけて実測, 実験を重ね, トレミーコンクリートの側圧算定式をさらに合理的なものにしていきたい.

最後に, 本研究を行なうに際して御示唆いただいた陶浪主席部員を始めとするSSS合理化プロジェクトの方々, 現場計測をさせていただいた現場の方々, および御助力いただいた研究所の岡田研究員, 高垣哲也氏, 中野



幹生氏、現土木部の山城幸治氏に感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 塚山隆一：“マスコンクリートの施工（コンクリート技術の基礎73）” 日本コンクリート会議（1973.8）
- 2) 神山 一：“マスコンクリート型わくおよび壁型わくの側圧” 土木学会論文集 第95号(1963.7)
- 3) R.H. Olsen：“Lateral Pressure of Concrete on Formwork”（1968.5）
- 4) 奥村・黒田・吉原：“注入モルタルの側圧に関する研究” 清水建設研究所報 第27号(1976.10)
- 5) 奥村・黒田・吉原：“プレバクトコンクリートの側圧に関する一研究” 清水建設研究所報 第28号(1977.10)
- 6) 野中・奥村：“コンクリートの初期性状に関する研究（その3）—圧縮強度・静弾性係数・せん断強度について—” 清水建設研究所報 第29号(1978.4)
- 7) W. チェルニン、徳根訳：“建設技術者のためのセメント・コンクリート化学” 技報堂（1969.12）
- 8) 岩崎訓明：“コンクリートの特性” 共立出版（1975.12）

