

論文

[1019] 境界層を設けた無接水トレミー工法の提案

正会員○清水五郎（日本大学海洋建築工学科）

蘇 玄昌（現代建設・技術研究所）

1. はじめに

水中コンクリートの施工方法として、トレミーもしくはコンクリートポンプによる工法が一般に採用されているが、これらの工法の問題点として、施工時、特にコンクリート打設の初期段階において材料分離を生じ易く、水質を汚濁するのみならず、打設コンクリートの品質は施工技術に著しく依存していることが指摘されている。

一方、コンクリートの水中分離を防止する方法として、近年、有効な混和剤がドイツで開発され、その後我が国において1980年頃よりこの技術が導入されて以来、所要の品質が比較的容易に確保できることから、水中不分離性コンクリートとしてその施工実績が徐々に増加の傾向を辿っている。しかし、この種のコンクリートは材料コストに係る経済性にお難点を有しているともいわれ、コストパフォーマンスについて今後の動向が注目されることである。

上述の背景に基づき、本研究では、トレミー工法の欠点とされる水質汚濁とコンクリートの品質の低下を低減するために、打設コンクリートが水と接触する界面に特殊な“境界層”を介在させて両者を遮断する“無接水工法”を提案するものである。以下に、新工法の内容を紹介し、モデル実験に基づき、技術的な可能性について検討を行う。

2. 無接水トレミー工法の内容と特徴

無接水トレミー工法は、トレミー管先端より流出したコンクリートが打設開始の初期段階において、水や海水に接して分離しないように在来工法に改善を施したもので、その原理を示せば、図1 (b) のようである。すなわち、コンクリートの打ち込み前に水底に水中不分離性の液層（境界層）を設け、その中へトレミー工法によりコンクリートを打設する。このとき、打設コンクリートは液層を押し上げるようにその下側に拡がり、いわゆる“境界層”を次第に形成するようになる。本工法の特徴は水質の保全、コンクリート品質の信頼性向上などのほかに、トレミー管の比較的自由的な水平移動や必要に応じてコンクリートの振動締固めなどを可能にするものである。な

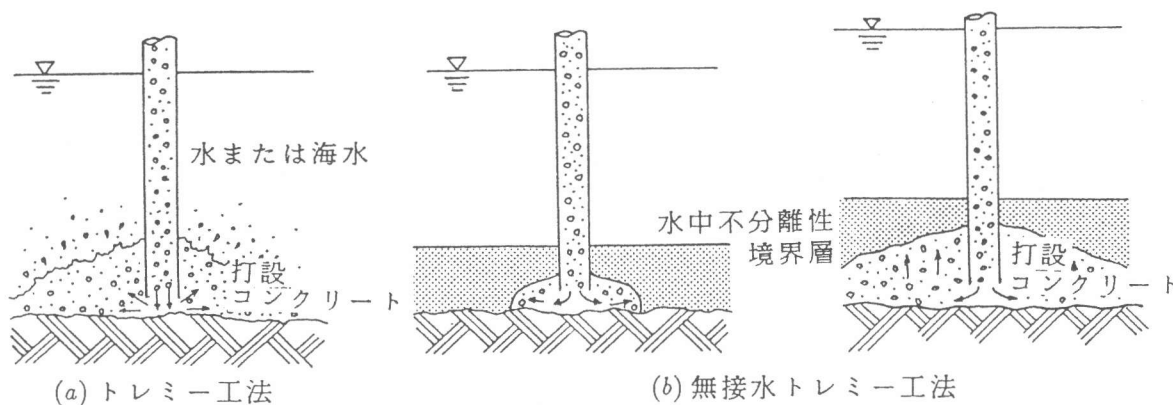


図-1 トレミー工法及び無接水トレミー工法の原理

お、本工法は打設断面が著しく大きくなる場合、その原理から有利性は減少するものと思われる。

ここに、境界層液に要求される条件としては、1) 水中において分離分散しない、2) 流動性に富む、3) 比重はコンクリートと水との中間にある、4) 低公害、5) 再使用可などである。これらの諸条件をほぼ満たすものとしては、高炉スラグ、フライアッシュ、シリカなどのポゾラン系微粉末のスラリーに水中不分離性混和剤を添加したものが比較的適合する。これらの境界層液はその性質上コンクリートに巻き込まれにくく、また、鉄筋に対する悪影響は無視できるほど小さく、かつ、長期間品質の安定性が見込まれるため、回収により再使用が可能となる。

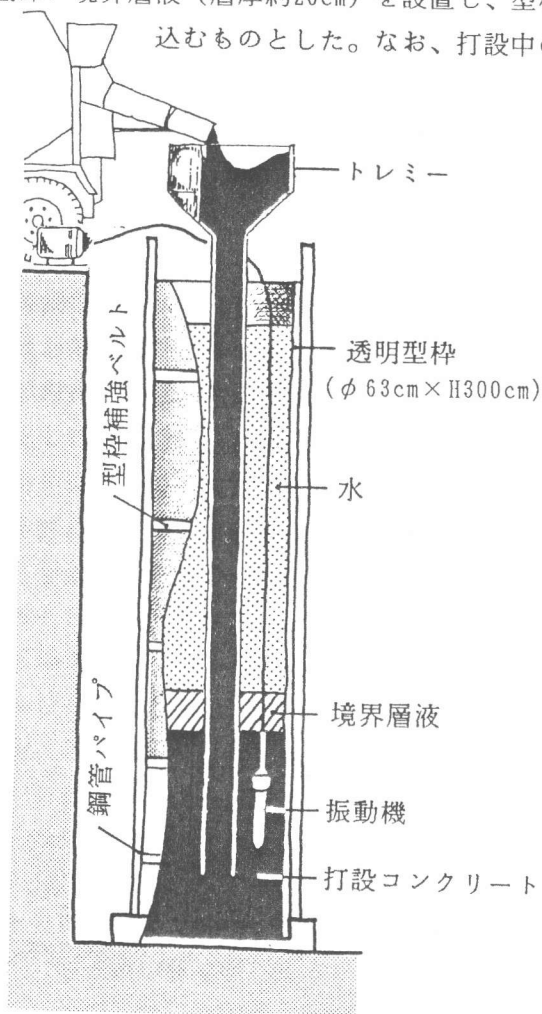
3. モデル施工実験

3.1 実験Ⅰ（無筋コンクリート）

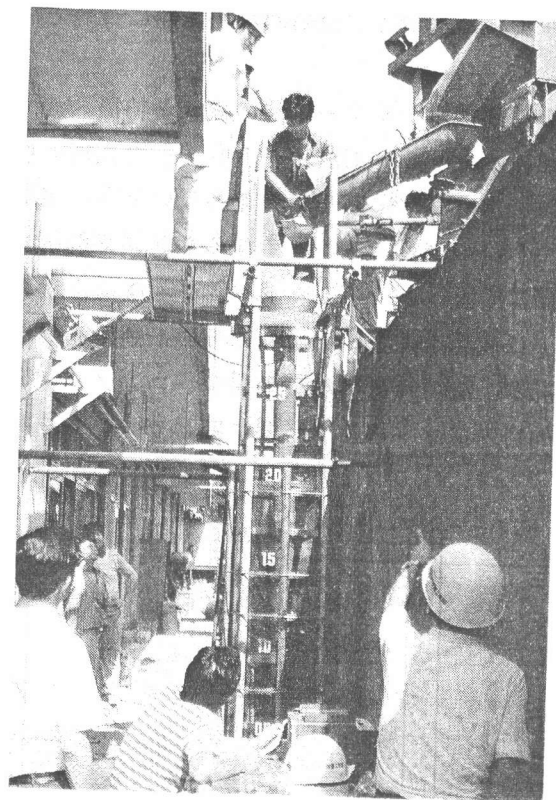
本実験は本研究を開始した比較的初期に実施したものであり、柱状部材を対象として、無接水工法の原理の確認を主たる目的としている[1]。

(1) 実験方法

無接水トレミー工法の原理の適合性や施工性を検討するため、モデル実験を実施した。φ63cm×H300cmの透明なアクリル製円筒容器を型枠として、その中央にトレミー管（φ12.5cm）を、底部に境界層液（層厚約20cm）を設置し、型枠中に十分水を満たした状態でコンクリートを打ち込むものとした。なお、打設中の境界層の挙動や水質の汚濁は外部から目視により



(a) モデルの断面



(b) 施工風景

図-2 無接水トレミー工法の施工実験例

入念に観察するものとした。また、トレミーコンクリートの品質はコアによる外観検査と圧縮強度により比較するものとした。施工実験は異なる調合について2体を計画した。実験方法の概略を図2に、レデーミクストコンクリートの実施調合を表1に示す。

表-1 実施コンクリートの調合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	スラフ (cm)	単位水量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
						セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	59.0	21	179	49.6	4.0	303	884	910	0.757
25	64.0	21	179	50.2	4.0	280	905	910	0.700

(2) 境界層

実験に採用した境界層液は、便宜上、市販の流動パラフィン（比重0.89）に四塩化炭素（比重1.59）

表-2 コンクリートの圧縮強度試験結果

母材コンクリート	供 試 体				圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 × 10 ⁶ (kgf/cm ²)
	種 別	寸 法 (cm)	養 生	材 令 (日)		
210-21-25N	レデーミクスト	φ15×H30	20℃水中	268	310	3.01
	コンクリート	〃	20℃気中	〃	—	—
	トレミー	〃 (J7)	屋 外	〃	265	3.07
	コンクリート	φ63×H126	〃	〃	285	3.03
180-21-25N	レデーミクスト	φ15×H30	20℃水中	409	333	3.03
	コンクリート	〃	20℃気中	〃	253	2.43
	トレミー	〃 (J7)	屋 外	〃	318	2.49
	コンクリート	φ63×H126	〃	〃	305	2.62

を混合して、比重1.2程度に調整したものを対象とした。当液体は無色透明で、施工中の境界層の挙動が透明型枠外部より観察しやすい特徴を有している。

(3) 実験結果

無接水工法の原理に基づく施工実験はいずれも比較的順調に実施することができた。特に、打ち込み開始の初期において、トレミー管先端から流出したコンクリートは境界層液の下側に拡がり、予定の境界層を形成することが外部より確認された。引き続くコンクリートの打ち込みに対して、コンクリートの最上部は比較的水平面を維持しながら上向へ移動していることが観察された。この間、施工中の水質汚濁は皆無であるが、打設コンクリート中に空気泡が連行されると境界層の下側に集合して境界層を突破し、水中を浮上する際に水を汚濁することが認められた。採用した2種類のコンクリートのうち、単位セメント量の少ないコンクリートはワーカビリティが不良であったため、振動機（8000 rpm）による締め固めを必要としたが、振動機の挿入や振動時においても境界層は安定な状態を維持することが認められた。

トレミーコンクリートの品質を検討するため、打設後の試験体を所要寸法に切断整形したもの（φ63cm×H126cm）や、コア供試体（φ15cm×H30cm）を対象として圧縮試験などを実施した。結果を表2に示す。今回の結果によれば、トレミーコンクリートは気中で製作されたコンクリートに比べて強度や均一性の点で顕著な差異は認められなかった。

3.2 実 験 II (鉄筋コンクリートの水中施工)

無接水トレミー工法により、RC部材を水中施工する場合、鉄筋に及ぼす境界層液の付着による影響について検討を要するものと考えられる。ここでは、トレミーコンクリートの流動パターンと鉄筋表面に留まる境界層液の付着量、鉄筋の付着強度などについて基礎的実験を実施した。

(1) 実験方法

透明な塩化ビニール製パイプφ30cm×H240cmの型枠中央に梯子状の組立鉄筋（D22）を設置し、無接水工法によりコンクリートを打ち込むものとした。トレミー管（φ4cm）の位置は鉄筋または型枠に接近した場合の2水準、また、トレミー管先端を固定して打設した場合とトレミー管先端

のかぶりを一定として上方に移動する場合の2水準を試験の対象とした。打設コンクリートは約20ℓ毎に異なる着色を施し、硬化後の割裂断面より、トレミーコンクリートの流動パターンや鉄筋に対する境界層液の付着残留量などを観察するものとした。

(2) 境界層

フライアッシュセメントスラリーにセルロースエーテル系の水不分散性の混和剤を添加したもの(W/C=50%、フロー値250)、または単味のフライアッシュ微粉末のスラリーに同混和剤を添加したもの(W/F=50%、フロー値250)とし、前者は硬化性、後者は非硬化性である。いずれの試験においても、これらの境界層液は層厚20~30cmとして用いた。

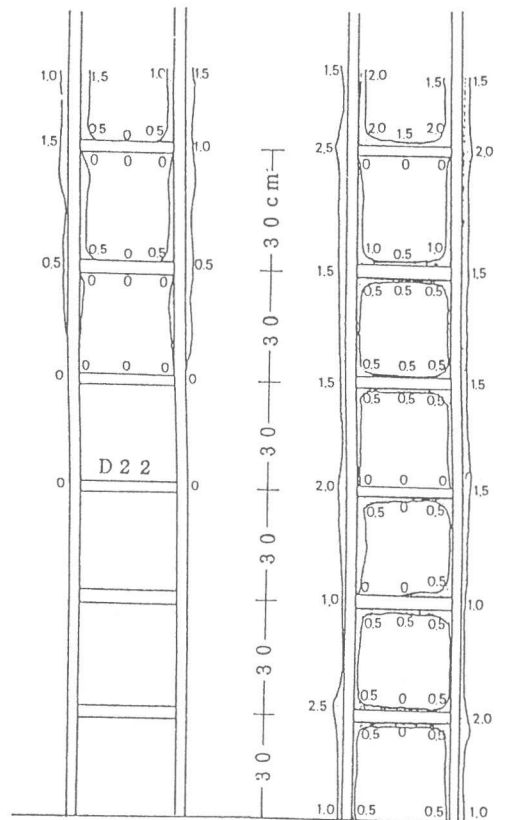
(3) 実験結果

施工実験を型枠外部より観察した結果、先の「実験Ⅰ」とほぼ同様に、打設中の水の汚染は空気泡が水中に浮上する際を除いて認められなかった。また、硬化後の割裂断面によれば、境界層のほとんど全量が試験体の最上部に移動していることから、境界層は安定した状態を維持し、その機能を十分果たしているものと判断される。

一方、20ℓ毎に異なる着色を施したコンクリートの色模様を観察すれば、トレミー管先端の上方の移動や障害物としての鉄筋の存在を比較的顕著に示しているようである。すなわち、トレミー管先端を固定してコンクリートを打設した区間では逆打ちとなり、先端が上方に移動する場合には移動箇所を境として概ね上部に後続のコンクリート、下部に先行のコンクリートのように区分される。また、トレミー管先端を上方に頻りに移動する区間では後続のコンクリートが順次積層されるパターンで打設が進行する(1例を示せば図5)。



施工実験例(実験Ⅱ)



(a) トレミー管 固定の場合 (b) トレミー管が 頻りに移動する場合

図-3 境界層マトリックスの付着状態(mm)

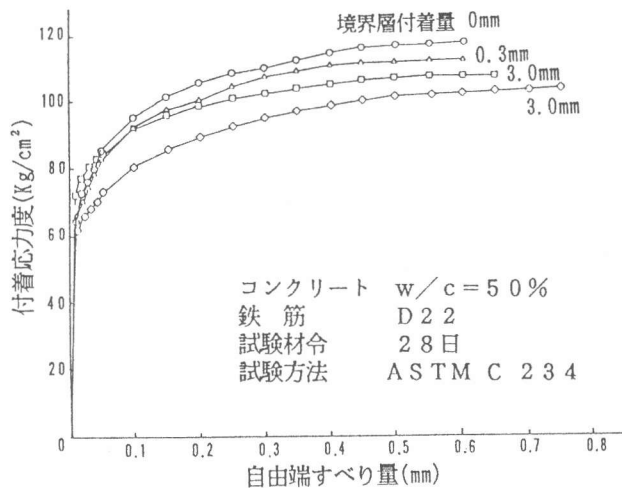


図-4 付着応力度とすべり量

他方、鉄筋表面に境界層液が滞留するかどうかについて割裂断面を念に調査した結果を図3に示す。今回の結果では、トレミー管先端を固定して打ち込んだ場合コンクリートヘッドが1 m程度上昇する区間では水平、垂直鉄筋はいずれもそれらの表面に境界層液付着の痕跡を残さず上部の鉄筋では最大厚1.5mmの付着が確認された(図3-(a))。トレミー管先端がしばしば上方に移動する場合には、図3-(b)のように、鉄筋のほぼ全面に最大厚2.5mmの境界層液の付着が認められた。これらのことは先にも述べたように、トレミー管の移動の有無によってコンクリートの流動パターンが異なり、鉄筋表面に留まる境界層液の付着量は施工状態によって左右されることを意味している。しかしながら、異形鉄筋の場合、境界層液の残留が付着強度に及ぼす影響は比較的小さく、例えば図4に示すように非硬化性の付着物が最大3mm厚で付着した場合においても、高応力域に至るまで試験値に顕著な差異は認められないようである。したがって、鉄筋表面に残留する境界層液の付着量は鉄筋周辺を移動するコンクリートの流れによって制御することが可能であり、むしろこのことを積極的に利用して、鉄筋の防錆性が向上するような防錆剤入り境界層液の選択を行うことなどが今後の検討課題となろう。

4. 無接水工法における境界層の検討

4.1 境界層マトリックスの基本的な考え方

無接水トレミー工法は水と打設コンクリートが接触しないように両者を遮断するための境界層を設けることを特徴としている。境界層が十分機能するための必要条件は、主として水中不分離性、高流動性などであるが、特に後者は打設開始時に本工法の成否を左右する重要なポイントになる。境界層の流動性を確保するためにはマトリックスは水比60~120%のスラリーが望ましく、これに水中不分離性混和剤を1% (対水比) 程度混入することによってマトリックスの水中分離を十分防止する

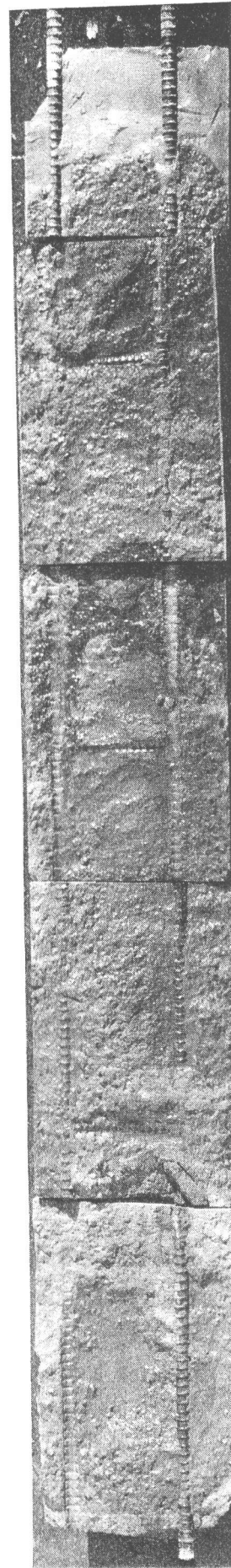


図-5 割裂断面例

ことができる。マトリックスの素材としてポゾラン系の微粉末を用いるとそれ自体硬化することがないので、打設終了後の回収が容易となり、かつ再使用が可能となる。一方、マトリックスが混合系セメントスラリーの場合、鉄筋表面にマトリックスが付着しても顕著に悪影響を及ぼすことは少ないように思われるが、打設終了後コンクリートヘッドの後処理を必要とする。

4. 2 境界層の厚さ

打設開始時にトレミー管先端から流出したコンクリートは、一般にトレミー管を中心として円錐上に盛り上がる。したがって、無接水工法に要する境界層は、その原理から基本的には盛り上がり高さをカバーする厚みを必要とする(図1-(b)参照)。フレッシュコンクリートの拡がり半径(l)に対する高さ(h)の比を流動勾配(h/l)とすれば、境界層の層厚(T)は、

$$T = 2/3 \times (h/l) \times L \quad (1)$$

ここに、 L はトレミー管中心から型枠までの距離または相隣るトレミー管の距離のうち大きい方の値である。文献によれば、水中におけるコンクリートの流動勾配は $1/3 \sim 1/12$ で、平均 $1/9$ ともいわれている[2][3][4]。実際には、打設コンクリートについて実測することが望ましい。簡易な試験方法の一例を示せば、スランプコーンの天地を逆にして、スランプ試験の要領により流動勾配を求めることができる。なお、コンクリートの盛り上り部を振動機により抑制すれば、(1)式から求める境界層厚はかなり低減されることになる。

5. まとめ

コンクリートの水中施工に伴う水質汚濁を防止し、水中コンクリートの品質の信頼性を向上させることを目的として、既往の工法を改善した無接水トレミー工法を提案し、その有用性と技術的な可能性を示した。また、同工法を適用する際の関連事項について知見を述べた。

6. おわりに

鉄筋コンクリート部材の水中施工に関しては、目的に応じて採用する境界層液に有効な付加価値を付与する方向で検討を進めたい。また、本工法は柱状部材の水中施工を対象とするもので、断面が平面的に拡がる場合には適用が困難となるが、今後の課題として用途の拡大に努めたい。

参考文献

- 1) Shimizu, G: Tremie Process Non-Contacting with Water, Ocean Space Utilization'85, pp. 603-610, 1985. 4
- 2) 赤塚雄三・関 博: 水中コンクリートの施工法、鹿島出版会、1975
- 3) Gerwick, B. C. Jr.: Placement of tremie concrete, ACI special publication concrete construction in aqueous environment, NP. 2, pp. 9-20 1966
- 4) 大友忠典 他: 配筋が密な土中連続壁で均等質なコンクリートを得る方法に関する研究、土木学会第42会年次学術講演会、1986
- 5) 関 博・大友忠典: 水中コンクリートの最近の動向、コンクリート工学、Vol. 21、No. 4、pp. 4-13、1983. 4