# 論文 高じん性セメントボードを使用した埋設型枠工法に関する研究

人見 祥徳\*<sup>1</sup>·滝沢 清\*<sup>1</sup>·新村 亮\*<sup>2</sup>·福井 真男\*<sup>3</sup>

**要旨**:本研究は、コンクリート構造物の構築に際し高じん性セメントボードを用いた埋設型 枠工法の施工技術と、高じん性セメントボード型枠使用による内部コンクリートの耐久性向 上に関する研究である。研究の結果、厚さ8mm程度の高じん性セメントボードにより埋設 型枠工法が施工可能となり、セメントボードで被覆することにより内部コンクリートには、 コンクリートのひび割れ抑制効果、中性化、凍結融解、塩害に対する保護効果などの耐久性 向上に関わる幾つかの効果が付与されることを明らかにした。

キーワード: 高じん性セメントボード, 埋設型枠, 耐久性, ビニロン繊維

1. はじめに

近年,コンクリート構造物において様々な劣 化現象が顕在化しており,早急に補修・補強が 必要とされる構造物は今後急増すると予想され る。このため,ライフサイクルコストを低減す るという観点からも,このような問題を事前に 防止するコンクリート耐久性向上技術の開発が 必要となっている。

コンクリート構造物は,セメント水和熱やコ ンクリート内部と外部との温度差,乾燥収縮や 自己収縮,さらには荷重によりひび割れが生じ る可能性がある。さらに,中性化,塩害,凍結 融解などの外部劣化因子によりコンクリートの 劣化は相乗的に進行することになる。

構造物表面にプレキャスト製の型枠を存置す る埋設型枠工法により,これらの劣化因子の侵 入を防ぐ技術が開発されている<sup>1)</sup>。しかし既存 の埋設型枠は部材が厚く,重量が大きいため, 設置にクレーンなどの重機を必要とし,施工性 や経済性に問題があった。

本研究では,軽量薄肉で施工が容易な材料と して,ビニロンを補強繊維として用いたセメン トボード<sup>2)</sup>に着目し,セメントボード性能の把 握,埋設型枠による内部コンクリート保護効果, 補強効果,施工技術の検討を行ったので,その 結果を報告する。

- 2. 高じん性セメントボード性能
- 2.1 高じん性セメントボードの製造方法

高じん性セメントボードは丸網抄造法(ハチ エック法)により製造される。図-1に丸網抄 造法のフロー図を示す。表-1に示す材料をミ キシングタンクで固形分 20%以下のスラリー とし、これを濃度 10%以下に希釈して抄造タン クに供給する。同タンク中ではスクリーンロー ラーが回転し、スラリーから固形分を漉し取り 直ちに フェルトに転写される。途中適宜脱水さ れながらメーキングローラーへ転写積層され、 所定の厚みになるとワイヤーが跳ね出し、シー トが取り出される。シートは加圧プレスで脱水 し、約1日の蒸気養生(養生温度 50℃)の後、 2週間ビニールシートに包んで室温で養生を行 った後、強制乾燥される。

ハチェック方式の特徴として1)生産スピード が速く経済的である,2)品質が安定している, 3)軽量,薄肉で高強度の材料が製造できる,な どがあげられる。

\*1(株) クラレ 繊維資材カンパニー 産資開発部 (正会員) \*2(株) 大林組 東京本社土木技術本部構造技術部 (正会員) \*3(株) 大林組 東京本社土木事業本部特殊工法部



図-1 高じん性セメントボードの製造工程

表-1 高じん性セメントボードの配合例

材 料	セメン ト	炭酸カル シウム	シリカ フューム	セピオ ライト	パッレプ	ビニロン
質量%	67	20	5	1.5	3.5	3

## 2.2 高じん性セメントボードの基本性能

高じん性セメントボードの諸基本性能を表-2に示す。表-2は乾燥状態での物性値である。 高じん性セメントボードは高い曲げ強度と引張 強度を有しており、曲げタフネスも大きい。た だし製法上の理由から補強繊維に配向性がある ため、表中括弧内に示すように、性能に方向性 がある。耐摩耗性が高く、熱伝導率が普通のモ ルタルに比べて小さい。

項目	試験方法	単 位	測定値
圧縮強度	JISK6811	MPa	88.5
曲げ強度	JISA1408	N/mm <sup>2</sup>	38.5 (24.6)
曲げタフネス		N/mm <sup>2</sup>	30.4 (17.9)
曲げ弾性率		$10^4$ N/mm <sup>2</sup>	1.50 (1.50)
引張強度	直接引張	N/mm <sup>2</sup>	14.5 (11.2)
せん断強度	JISK7058	N/mm <sup>2</sup>	27.9 (17.5)
熱伝導率	JISA1412	W/m·K	0.232
比熱	液体混合法	kJ/kg•K	1.1
線膨張係数	JISA1325	10 <sup>-6</sup> /K	9.3 (5.7)
耐摩耗性 (落砂法)	JISA5209	mg	摩耗減量:2
耐摩耗性 (研磨紙法)	JISA1453	mg	摩耗減量:775
衝擊強度	JISK7111	kJ/m <sup>2</sup>	6.46 (3.02)
不燃性	JISA1321	難燃1級	
埋込みアンカー 引抜き試験	直接引張	kN	6.00

表-2 高じん性セメントボード性能一覧表

測定値は繊維配向方向 () 内は繊維配向直角方向

#### 3. 内部コンクリートの耐久性向上効果

高じん性セメントボードは,高強度・高じん 性であり,シリカフュームの使用による最密充 てん効果により組織が緻密であることから,埋 設型枠として使用した場合,二酸化炭素や塩分 の遮断性,凍結融解に対する高い抵抗性が期待 される。これらの性能を実験的に行った。

### 3.1 中性化

CO<sub>2</sub>濃度 5% で 60 日間中性化促進試験後のボ ードの中性化深さ変化を**表-3**に示す。促進環 境下でもボードは中性化せず,内部コンクリー トの中性化を長期的に抑制することができる。

表-3 ボードの中性化促進試験結果

1百 日	中性化期間(日)			
	0	30	60	
中性化深さ(mm)	0	0	0	
PH 濃度	12.4	12.3	12.3	

## 3.2 塩分浸透

塩分浸透試験用複合供試体を図-2に示す。 供試体は、外径寸法が10×10×40 cmとなるようにボードを組み立て、内部に表-4に示す配合のコンクリートを打設した。材齢38日まで水中養生し、7日間気中養生後、塩素イオン濃度1.8%の人工海水中に供試体を浸漬した。1ヶ月後及び2ヶ月後にコアを採取し、コンクリート部分の塩素イオン量を測定した。測定方法は「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」 (日本コンクリート工学協会基準案)に準じた。

試験結果を図-3に示す。コンクリート単体 の供試体では、人工海水浸漬後 30 日で、深さ 20mm まで塩素イオンの浸透が見られたのに対 し、複合供試体のコンクリート部分には、浸漬 60 日後でも、塩素イオン量は、初期値と同程度 であり、塩素イオンの浸透は認められなかった。

表-4 内部コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位体積質量(kg/m <sup>3</sup> )					
		С	W	細骨材		G	٨d
			**	S1	S2	0	110
48	43.8	357	171	526	227	1034	0.714

S1:海砂,S2:砕砂,G:粗骨材,Ad:AE 減水剤



### 3.3 凍結融解

凍結融解抵抗性試験用複合供試体を図-4に 示す。供試体はコンクリート打設後1日で脱型 し,材齢37日まで標準水中養生した後,凍結融 解試験(ASTM C-666 A 法)を開始した。相対 動弾性係数の測定結果を図-5に示す。複合供 試体では相対動弾性係数の低下はほとんどみら れない。試験後の供試体の写真を写真-1に示 す。外観上の表面劣化もほとんど見られない。

これによりセメントボードは凍結融解による 劣化から内部コンクリートを保護していること がわかる。

## 4. 鉄筋コンクリート複合体の曲げ性状

高い引張り強度で高じん性な材料をコンクリ ート部材の引張側に設置することで,鉄筋コン クリート部材の曲げ強度を増加させるとともに, ひび割れの発生を抑制する効果が期待される<sup>3)</sup>。













コンクリート単体 写真一1 凍結融解試験後の供試体外観

そこで,高じん性セメントボードの鉄筋コン クリートとの複合供試体で実証を行った。

## 4.1 鉄筋コンクリート複合供試体

内部コンクリートは高さ 150mm×幅 100mm ×長さ 1500mm とし、引張側に厚さ 8mm のセ メントボードを設置した複合供試体とした。図 -7に示す様に引張鉄筋およびせん断補強筋 (D10)を配筋した。コンクリート打設後、3日後 に脱型し、材齢 35 日まで封緘養生後,曲げ載荷 試験を行った。載荷は鉄筋が降伏するまでは荷 重制御,降伏後は変位制御で行った。比較のた めボードなしの供試体についても試験を行った。

#### 4.2 曲げ載荷試験結果

セメントボード有無の各供試体の試験結果を 表-5に示す。ボード有り供試体のコンクリー トのひび割れ発生荷重,鉄筋降伏荷重,最大荷 重,および,曲げ剛性はボード無しに比べ大き く増加した。また、最大曲げ耐力に至るまでボ ードが剥離する現象は認められず,ひび割れ分 散性も良好であった。載荷荷重と発生ひび割れ 幅の関係を図-6に示す。ボード無し供試体の ひび割れ幅が 0.3mm の荷重レベルにおいても, ボード有供試体ではボード表面にひび割れは発 生せず,内部コンクリートのひび割れ幅も 0.05mm 以下であった。この様に高じん性セメ ントボードにより鉄筋コンクリート複合体の曲 げ補強,ひび割れ発生抑制効果が認められた。

#### 表-5 曲げ載荷試験結果

試験体	コンクリー	セメントボ	鉄筋降	最大
	トひび割れ	ードひび割	伏荷重	荷重
	発生荷重	れ発生荷重	(kN)	(kN)
	(kN)	(kN)		
ボード無	3.3	—	13.8	18.5
ボード有	6.7	15.0	22.3	22.7
計算値	4.3	—	18.2	18.8



図-6 曲げ載荷試験荷重-ひび割れ幅関係

#### 5. 内部コンクリートとの一体化

セメントボードと内部コンクリートとの一体 化は耐久性を確保する上で必要な性能である。 ボード界面の状態をパラメーターにコンクリー トとの接着耐久性試験を行った。

#### 5.1 接着耐久性試験供試体

セメントボードの表面条件は、表面が平滑な ものと、0.3mm程度の細かな凹凸(金網 16 メ ッシュ、線径0.5mm、目開き1.1mmで型付) を施した2種類のセメントボードを使用した。



図-7 鉄筋コンクリート複合曲げ供試体

10cm×40cmのボードの界面には予めエチレン酢酸ビニル系吸水調整剤を塗布した。吸水調剤は濃度,塗布回数を変化させた。乾燥後10cm×10cm×40cmの鋼製型枠側面に設置し普通コンクリートを打設した。1日後に脱型し、材齢28日まで気中養生した。

#### 5.2 接着耐久性試験方法

「日本建築仕上学会規格:M-101 セメントモ ルタル塗り用吸水調整材の品質基準」に準じて, 冷熱繰り返し抵抗性試験を実施した。所定サイ クル後にテストハンマーでボードとコンクリー トの浮きを打音検査し,剥離が無い箇所で建研 式接着力試験機により接着強度を測定した。

#### 5.3 試験結果

界面が平滑面の試験体は、全面或いは一部に 剥離を生じたが、凹凸面を施した試験体では剥 離は認められなかった。剥離が無い箇所での引 張接着強度試験結果を図-8に示す。凹凸面に 吸水調整剤3倍液を2回塗りした試験体は、冷 熱繰返し300サイクル後も、接着強度の低下が 見られず、2.7N/mm<sup>2</sup>程度の良好な接着耐久性が 認められた。





#### 6. 埋設型枠施工実験

## 6.1 モデル試験体

橋脚の 1/4 断面を模した形状で,モデル試験 体を製作し各種計測を行った。図-9 にその形 状を示す。コンクリート打設時のセメントボー ドを補強するため,角鋼管端太を 250mm間隔 でボード外側に配置し, セパレーターを 600mm 間隔に配置した。

測定項目は以下のとおりである。

- 1) 内部コンクリート打設時のボードのひずみ。
- 2) 内部コンクリートとボード表裏の温度。
- 3) 内部コンクリートの一部に 250×380mm の 上下に貫通する空洞を設け、コンクリート硬

化後に油圧ジャッキにより内部コンクリートに 強制的にひび割れを発生させた条件下での,ひ び割れの進展状況を測定した。





#### 6.2 測定結果と考察

### (1) コンクリート側圧によるボードの歪み

コンクリート打設時の側圧によるセメントボ ードのひずみをボード表裏面に設置したひずみ ゲージで測定した。測定結果を図-10に示す。 計測ひずみは最大で約350µであり,計算値の6 割程度であった。これは側圧を受けたボードが 変形して,荷重の再配分が進んだためと考えら れる。又、ボードの降伏ひずみ(1000µ程度) に対しても十分な余裕があった。



(2) 温度分布計測結果

コンクリート打設後の温度計測結果を図-1 1に示す。コンクリート打設後コンクリート中 心部ではセメント水和発熱により温度上昇し, 最高温度は65.9℃に達した。その時ボード裏面 の温度は44.6℃,ボード表面で35.3℃であり, ボードの表裏で約9℃の温度差があり,ボード による保温効果が認められた。内外温度差を低 減することにより,内部コンクリートの表面ひ び割れの抑制効果が期待できる。



図-11 モデル試験体温度計測結果

#### (3) 強制変形実験

内部コンクリートに強制的に発生させたひび 割れの形状を図-12に示す。ひび割れ幅は最 大2.5mm まで増加し,セメントボード裏面に到 達したが,ひび割れはセメントボードには伝播 しなかった。セメントボード表面に目視できる ひび割れは発生しなかった。



図-12 モデル試験体ひび割れ発生状況図

## 7. まとめ

本研究の結果、高じん性セメントボードを埋 設型枠工法に用いることにより以下のことが確 認された。

- (1) 内部コンクリートの中性化,凍結融解,塩 害による劣化抵抗性を付与する。
- (2)コンクリート部材の引張側にボードを設置 することにより、曲げひび割れ発生強度、 曲げ破壊強度が増加する。
- (3)セメントボードと内部コンクリートとは適切な界面の状態を選定することにより確実な接着耐久性(一体性)が得られる。
- (4) セメントボードの保温効果により、表面温 度ひび割れを低減できる。
- (5) 内部コンクリートに生じたひび割れはボー ドには伝播しにくい。これにより、外部か らの劣化因子の浸入を防ぐことができる。

#### 参考文献

 1) 中根他:プレキャスト型枠(PCa)工法の 現状,コンクリート工学, Vol.33, No.4, pp.25-34, 1995

 2) 滝澤他: PVA 繊維補強高靭性セメントボード,第 57 回年次学術講演会講演概要集, VI-344, 土木学会,2002

3) Y. M. Lim et al., "Is Ductility Important for Repair Application?", Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC), - Application and Evaluation -, October 2002, pp.199-208.