

レジンコンクリートと立体金網を用いた高耐久性埋設型枠の開発

小野武彦¹・松尾一四²・山内一夫³・竹中 久⁴・前田敏也⁵・大和竹史⁶

¹正会員 清水建設(株)土木本部技術第1 部部長 (〒105-07 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館)

²正会員 麻生セメント(株)中央研究所副所長 (〒811-23 福岡県粕屋郡粕屋町大字仲原 2648 番地)

³正会員 麻生セメント(株)中央研究所 (〒820-01 福岡県嘉穂郡庄内町大字綱分 1843)

⁴正会員 工修 清水建設(株)技術開発センター副部長 (〒105-07 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館)

⁵正会員 工修 清水建設(株)土木本部技術第一部 (〒105-07 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館)

⁶正会員 工博 福岡大学教授 工学部土木工学科 (〒814-01 福岡市城南区七隈 8-19-1)

本研究では、レジンコンクリートと立体的に組み上げた金網マットとを組合わせた埋設型枠の実用化について検討した。その結果、従来認められている耐久性の確保を確認するとともにレジンコンクリートおよび打込まれるコンクリートの両側に埋め込まれる金網により、埋設型枠の一体化が図られ、またコンクリートのひび割れ性状が改善できることが明らかになった。さらに埋設型枠表面をゲルコートで処理することで景観材料としても有効に使用できることを明らかにした。

Key Words: resin concrete, three-dimensional steel mesh, embedded form, durability

1. はじめに

従来、コンクリート構造物は非常に耐久性の高いものと認識されてきた。事実、竣工後 50 年あるいは 100 年近くを経て今なおその機能を十分に満たしている構造物もある。しかし、近年、コンクリート構造物の早期劣化事例が数多く報告されている。劣化の種類としては、中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害および化学的腐食等、外部からの劣化要因(炭酸ガス、塩分、水分および化学物質等)の侵入によるものがほとんどである。したがって、劣化対策としては、これらの劣化要因の侵入を遮断することが効果的であり、コンクリート表層の緻密化、樹脂材等による表面被覆工法に加え、近年、プレキャストコンクリート版を埋設型枠として用いる工法が開発されている¹⁾。

本工法は、工場生産されたプレキャスト版を用いるため高品質であること、埋設型枠となるため脱型が不要となり、省力化、工期の短縮につながること等の施工の長所に加え、ここ数年来、地球環境規模で大きな問題となっている熱帯材型枠の代替型枠となることも大きな利点である。

一方、コンクリート構造物の補修材料として実績のあるレジンコンクリートは、強度、耐磨耗性等においてコンクリートと同等以上の物理的特性を有するのみならず、硫酸をはじめとする各種の酸に対しても高い化学抵抗性を有する高耐久性材料であり、特に厳しい腐食環境

下での利用が多い。内藤らは樹脂を含浸させた埋設型枠を実用化している¹⁾。

著者らはレジンコンクリートの特性を活かし、かつコンクリートとの一体化を向上させるためにレジンコンクリートと立体的に組み上げられた金網マット(以下、立体金網)により構成された埋設型枠の実用化について研究した。さらにコンクリート構造物の美観を向上させるために埋設型枠自体をゲルコートにより着色させることも検討した。

本研究は、レジンコンクリートと立体金網を組合わせることにより後から打込まれるコンクリートとの一体性を改善した埋設型枠の実用化について検討したものである。

2. 開発した埋設型枠

(1) 概要

埋設型枠の形状、材料および基礎物性を図-1 および表-1~3 にそれぞれ示す。埋設型枠は、ビニルエステル系樹脂を結合材とするレジンコンクリート版と、打設コンクリートとの一体化を目的とする立体金網で構成され、立体金網には耐久性を向上させるためにエポキシ樹脂被覆等により防食処理を行っている。埋設型枠と打設コンクリートとを一体化させることにより、コンクリート構造物にレジンコンクリートの有する高耐久性を付与し、また、型枠表面に周囲の環境に調和した着色等を施

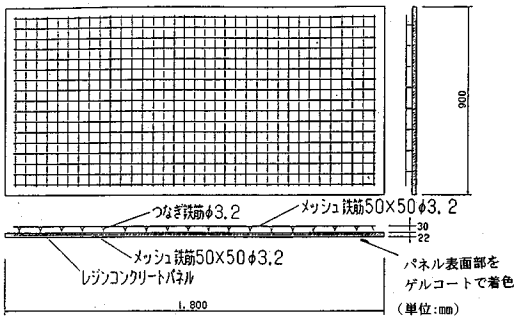


図-1 埋設型枠の形状

表-1 寸法および許容差

呼び厚	板厚 (mm)		全厚 (mm)		長さ (mm)		幅 (mm)		質量 (kg/枚)
	基準値	許容差	基準値	許容差	基準値	許容差	基準値	許容差	
20	20.0	+3 -0	45.0	+5 -3	1800	±5	900	±3	76
25	25.0	+4 -0	47.5	+6 -3					94
30	30.0	+5 -0	50.0	+7 -3					120

表-2(a) ゲルコートの仕様

コートの種類	使用樹脂名	コートの厚み
着色用ゲルコート	イソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂 又は、ビニルエステル樹脂	0.3mm以上
トップコート用	1液型フッ素樹脂	40μm以上

表-2(b) レジンコンクリートの仕様

種類	材料	配合
樹脂	ビニルエステル樹脂	12%
硬化剤	メチルメタクリレート	但し、硬化剤は樹脂の1.0~1.5%
充填材	フライアッシュ	12%
骨材	砕石 10号 珪砂 5号	76%

すことにより、景観材料としての価値を付与することが可能である。さらに、施工時の型枠組立、脱型の省力化を目的としている。また、各種物性は、コンクリートに比べて高強度であること、線膨張係数が大きいこと以外は、普通コンクリートとほぼ同等である。

(2) 製造方法

図-2に埋設型枠の製造フローを示す。すなわち、あらかじめ着色ゲルコート樹脂を打設した成型用型枠に所定の結合材(ビニルエステル樹脂)、充填材(フライアッシュ)および骨材(珪砂および砕石)を混合して投入し、これにエポキシ樹脂被覆を施した立体金網を所定の位置まで埋設する。次に加熱等により硬化、養生した後脱型し、埋設型枠を製造する。

表-2(c) 立体金網の仕様

項目	寸法 (mm)
メッシュ筋の線径	φ2.6
つなぎ筋の線径	φ3.2
メッシュの幅、長さ	50×50
つなぎ筋の有効高さ	35
メッシュ筋の埋設深さ	10
エポキシ樹脂被覆の塗膜厚さ	0.2以上

表-3 レジンコンクリートの物性

項目	単位	特性値
圧縮強度	MPa	80以上
曲げ強度	MPa	20以上
引張強度	MPa	10以上
弾性係数	MPa	2.0~3.0×10 ⁴
ポアソン比	-	0.2
比重	-	2.2
線膨張係数	1/°C	20×10 ⁻⁶

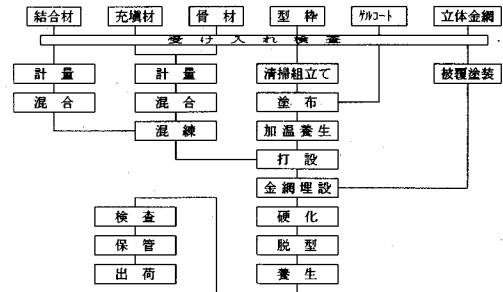


図-2 製造工程

表-4 要求性能と試験項目の一覧

要求性能	試験項目	
耐久性	耐塩害性	塩害促進試験
	耐中性化性	中性化促進試験
	耐凍害性	凍結融解試験
	耐酸性	硫酸浸漬試験
耐候性	耐候性試験	
コンクリートとの一体性	静的載荷試験	

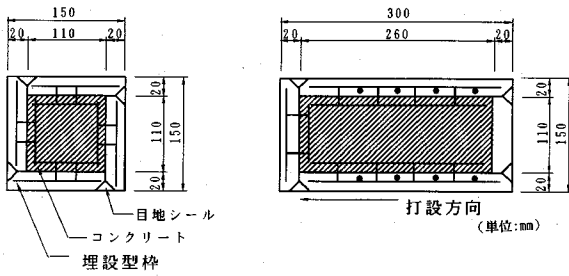
3. 性能試験

(1) 要求性能および試験項目

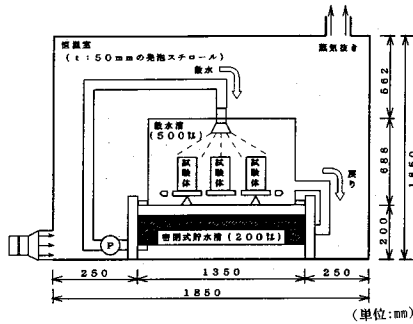
高耐久性型枠として要求される性能としては、耐塩害性、耐中性化性、耐凍害性および耐酸性、また、景観材料として要求される紫外線に対する耐候性、さらに、埋設型枠として有効断面の一部と考慮するための、コンクリートとの一体性等が考えられる。これらの要求性能を各種の試験を行うことにより確認した。表-4に要求性能および試験項目の一覧を示す。

表一五 耐久性試験に使用したコンクリートの仕様

水セメント比 (%)	空気量 (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	圧縮強度 (MPa)
55.8	5.1	260	30



図一三 供試体の形状



図一四 塩害促進試験装置概要

(2) 供試体の作成

供試体は、埋設型枠による効果を確認するため、埋設型枠複合部材（埋設型枠で組み立てた型の中にコンクリートを打設したもの）および普通コンクリート供試体（埋設型枠複合部材と同寸法の角柱供試体）の2種類を作成した。なお、埋設型枠複合部材は全て埋設型枠で覆った。このようにした理由は試験の目的が埋設型枠および目地自体の耐久性を調べることにあったためである。表一五および図一三に使用したコンクリートの仕様および供試体寸法を示す。埋設型枠複合部材の目地部については、エポキシ樹脂およびブチルゴムの2種類によりシーリングを行った。図一三の供試体は塩害促進、中性化促進および硫酸促進試験に用いた。

(3) 試験方法

a) 塩害促進試験

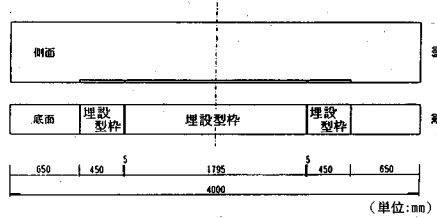
塩害促進試験は図一四に示す装置を用いて表一六に示す条件で10サイクルの乾湿繰り返しを行い、塩分浸透量をEPMA²⁾により測定した。

b) 中性化促進試験

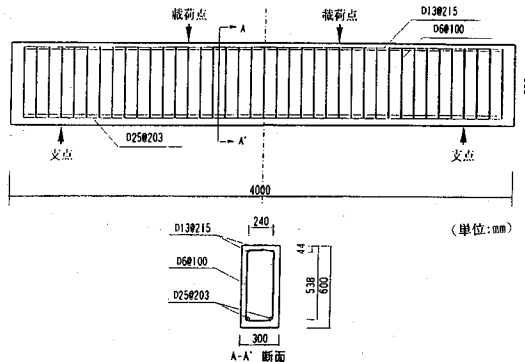
供試体を温度20℃、相対湿度40%、CO₂濃度10%の条件に設定した装置内に90日および180日間放置した後、フェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し、中性化深さを測定した。

表一六 塩害促進試験条件

環境区分	作用方法	環境温度	作用日数	1サイクルの日数
乾燥	熱風乾燥	50℃	4日	7日
湿潤	飽和食塩水散水	30℃	3日	



図一五(a) 試験体の仕様



図一五(b) 配筋状況



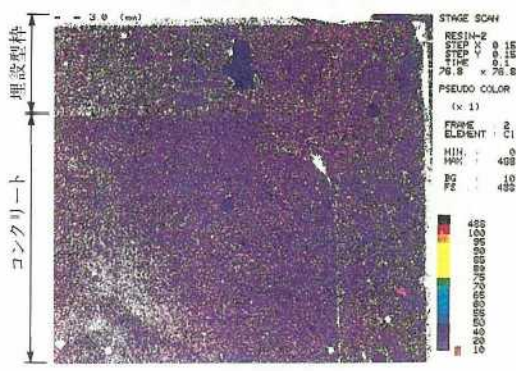
図一六 荷重方法

表一七 はりの曲げ試験に使用したコンクリートの仕様

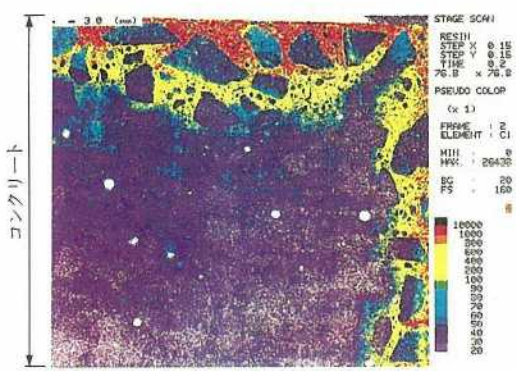
材令14日強度 (MPa)	スランプ (cm)	空気量 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)
44	18	5	20

c) 凍結融解試験

ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」に基づき、水中凍結融解法により、-17.8~4.4℃の温度範囲を1サイクル当たり4時間で凍結融解を400サイクル繰り返した。その過程において動弾性係数、重量および表面状況の変化を調査した。



(a) 埋設型枠



(b) コンクリート

写真一 EPMA による塩分浸透状況

d) 硫酸浸漬試験

5%硫酸溶液 (20°C) に供試体を 13 週間浸漬し、その過程において動弾性係数、重量および表面状況の変化を調査した。

e) 耐候性試験

JIS B 7752「紫外線カーボンアーク燈式耐候試験機」による促進試験を行い、外観および曲げ強度の変化を調べた。

f) はりの曲げ試験⁹⁾

埋設型枠を用いた RC はりの静的載荷試験を行い、曲げ耐力、ひび割れ性状などにより、埋設型枠とコンクリートとの一体性について検討した。載荷試験の概要および使用したコンクリートの仕様を図-5、6 および表-7 にそれぞれ示す。比較のため、埋設型枠と鉄筋コンクリート (RC) との合成はりと同配筋量をした RC はりの試験も行った。

(4) 試験結果および考察

a) 塩害促進試験

EPMA による塩分浸透状況 (試験開始 10 週後) を写

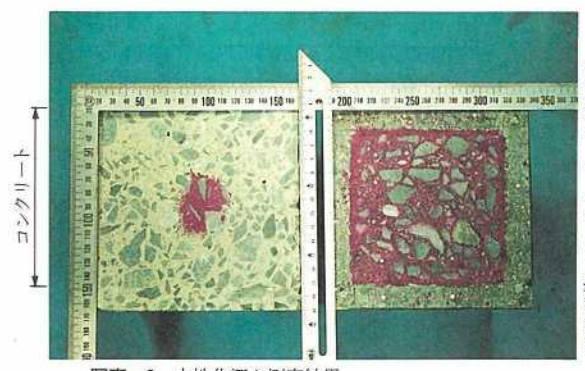


写真-2 中性化深さ測定結果 (左; コンクリート, 右; 埋設型枠)

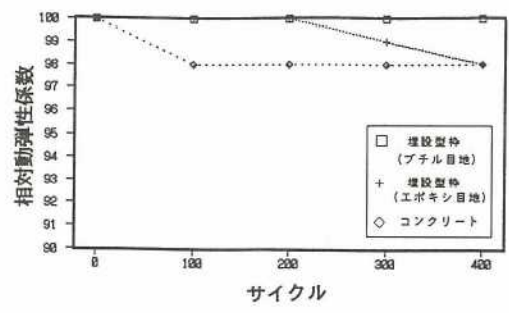


図-7 相対動弾性係数の変化

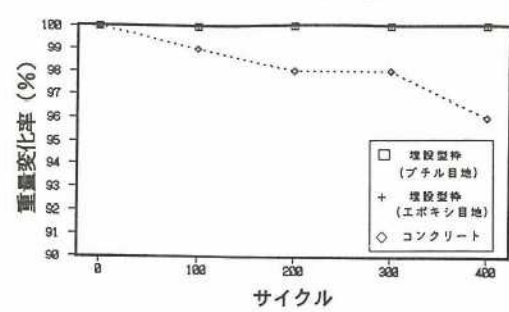


図-8 重量変化

真一に示す。ここでは、赤色ほど塩分量が多く、青から紫になるほど塩分量が少ないことを示している。これより、コンクリート供試体は全体にわたり塩分の浸透が認められたのに対し、埋設型枠複合部材は塩分の浸透が全く認められず、目地部にも変化が認められなかったことから、優れた耐塩害性を有していることがわかる。また、表面性状の変化として、コンクリート供試体の表面にヘアークラックが多く発生しているのが観察された。

b) 中性化促進試験

中性化深さの測定結果を写真-2 に示す。これより、コンクリート供試体は試験開始 180 日後には中性化深さが 5.5cm 程度まで達しているのに対し、埋設型枠複合部材はコンクリート部分の中性化が全く認められず、目地部にも変化が認められなかったことから、優れた CO₂ 遮断性を有していることがわかる。埋設型枠そのものの

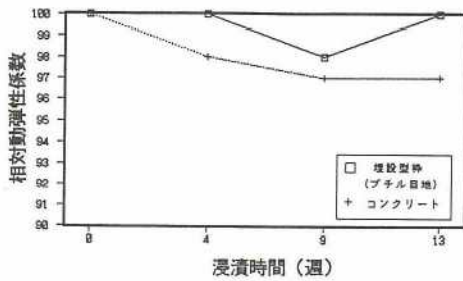


図-9 相対動弾性係数の変化

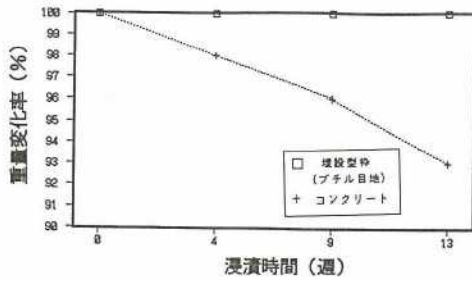


図-10 重量変化

遮断性により耐塩害および耐中性化が確保されていると判断されるが、ゲルコート成型表面に処理した場合には、ゲルコートにより遮断性はさらに向上しているものと考えられる。

c) 凍結融解試験

凍結融解試験における動弾性係数および重量の変化を図-7および図-8にそれぞれ示す。図-7より、動弾性係数についてはコンクリート供試体、埋設型枠複合部材ともに大きな変化はみられず、また、両者の間に顕著な差はみられない。これは、コンクリートの空気量が5%程度と大きかったために凍結融解の繰り返しによる劣化が内部まで進まなかったことが原因であると考えられる。また、図-8から、コンクリート供試体については、試験後、骨材が露出しており、表層のモルタル分の剥離にともなう重量減少が認められたのに対し、埋設型枠複合部材については重量変化が全く認められなかった。

d) 硫酸浸漬試験

硫酸浸漬試験における動弾性係数および重量の変化を図-9および図-10にそれぞれ示す。図-9より、動弾性係数については凍結融解試験の場合と同様、コンクリート供試体、埋設型枠複合部材ともに大きな変化がなく、顕著な差も見られない。また図-10からコンクリート供試体については試験後、骨材の露出とともにコンクリートが白色化しており、表層のモルタル分の剥離にともなう7%の重量減少が認められたのに対し、埋設型枠複合部材については重量変化が全く認められなかった。

e) 耐候性試験

耐候性試験による外観変化および曲げ強度の変化を写

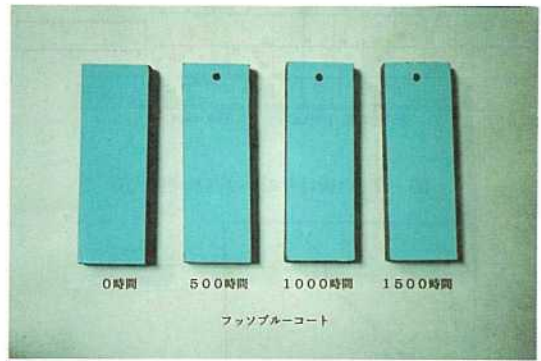


写真-3 耐候性試験結果 (左から0, 500, 1000, 1500時間後)

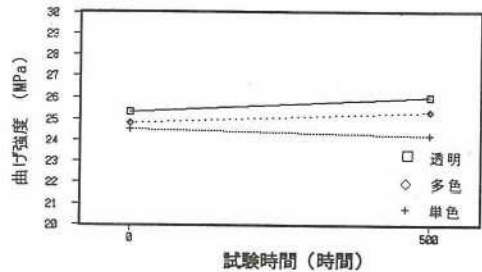


図-11 曲げ強度の変化

真-3および図-11にそれぞれ示す。写真-3から、試験後も剥離、割れおよび変色等の外観上の変化はほとんど認められなかった。また、図-11から、曲げ強度もほとんど変化しておらず、耐候性に関しても要求性能を満たしていると考えられる。

f) はりの曲げ試験

合成はりのひび割れ発生状況を図-12に示す。合成はりのRC部のひび割れ発生荷重は約181kNで、また埋設型枠自体のひび割れ発生荷重は約270kNであった。このようにまずRCはりにひび割れが発生し、その後、埋設型枠がRCはりの変形を拘束する状態で変形が進み、埋設型枠にひび割れが発生する状態で破壊に至ることが確認された。一方、RC単独はりのひび割れ発生荷重は約138kNであることから、RCはり自体のひび割れ発生荷重が埋設型枠との合成効果、立体金網等により増大することが認められた。このように立体金網を入れたことにより、埋設型枠とコンクリートとの一体化が確保できたと考えられる。

図-13は、埋設型枠の目地部と目地部以外の箇所が発生した最大ひび割れ幅を比較したものである。両者の場合ともRC単独はりに比べてひび割れ幅が小さくなる傾向が認められる。これはRCはりのかぶり部に埋設された立体金網のはり軸方向の鉄筋がひび割れ幅を制御したことによるものと考えられ、立体金網が単に一体化を確保するだけでなく、はり自体のひび割れ制御にも効果的

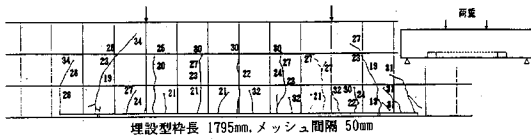


図-12 合成はりのひび割れ発生状況

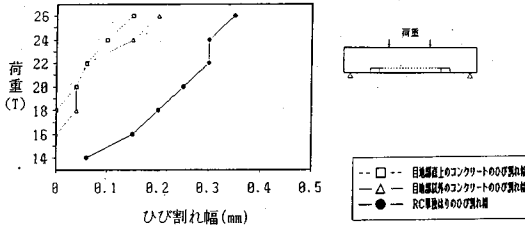


図-13 目地部と目地部以外の最大ひび割れ幅の比較

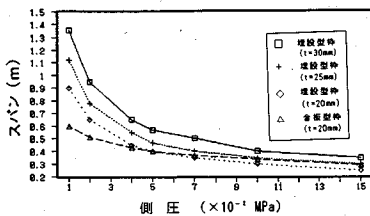


図-14 側圧と支保工スパンの関係

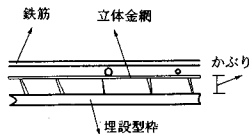


図-15 立体金網のスペーサとしての利用

であることを裏付けているものと考えられる。本試験では埋設型棒の目地部が等モーメント区間外にあるために、目地部のひび割れ幅が埋設型棒のひび割れ幅よりも小さくなっているが、等モーメント区間内に目地部がある場合は逆の傾向となる。

4. 施工方法

(1) 支保工の設計

埋設型棒を型棒として用いる場合、支保工は通常の合板型棒と同様の設計を行い、この場合、許容曲げ応力度は14.7MPaとする。ただし、埋設型棒は剛性が高いので、支保工スパンが通常の合板型棒に比べて大きくなり、型棒組立の際、施工の省力化が可能となる。また、脱型後、セパレータの孔は耐久性を確保するためエポキシ樹脂系モルタルで充填する。図-14に埋設型棒の厚さ毎の側圧と支保工スパンとの関係を示す。ただし、図中の合板型棒については、日本農林規格「コンクリート用型棒合板」に規定されている寸法および弾性係数(厚さ:24mm, 弾性係数:4,900MPa)を、また、許容曲げ強

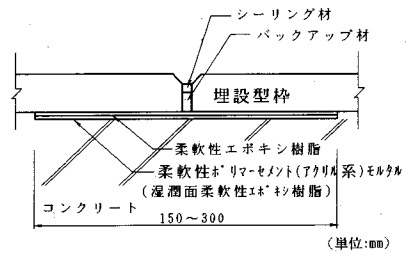


図-16 目地部の構造

度を16.2MPa³⁾、側圧による許容たわみを3mmとして求めたものである。型棒背面のコンクリート側に埋め込まれる立体金網は、つなぎ筋の高さを変えることで図-15に示すように鉄筋配筋用のスペーサとして利用できる。これにより鉄筋の配筋精度を向上させることが可能になると考えられる。

(2) 目地部の構造

埋設型棒は非常に耐久性の高い型棒であるが、実際の施工に際しては型棒の継ぎ目(目地)ができるため、目地部についても埋設型棒と同等の耐久性を確保する必要がある。目地部に要求される性能としては、各種劣化要因の遮断性のみならず、温度変化等による型棒の変形に対する追従性がある。図-16に目地部の構造を示す。埋設型棒背面には、劣化要因の遮断性に優れ、かつ、ひび割れ追従性に優れた柔軟性エポキシ樹脂および柔軟性ポリマーセメントモルタル(あるいは湿潤面柔軟エポキシ樹脂)の積層による被覆を施し、さらに、目地の隙間にはバックアップ材およびシーリング材により防水処理を行う。

(3) 施工事例

埋設型棒を耐食性試験用プール新設工事に適用した事例を示す。埋設型棒によるプールの施工は①目地部プチルゴムシールの取付け、②埋設型棒の組立、③支保工の組立④コンクリートまたは充填モルタル打設⑤目地材注入の順序で行った。施工状況を写真-4(a)~(f)に示す。写真-4(a)は埋設型棒の組立状況を写真-4(b)は目地部プチルゴムシールの詳細を示したものである。目地部ゴムシールは目地材のバックアップ材として機能するので、組立前に埋設型棒に先付けしておき、突き合わせ、組み立てた。写真-4(c)にコンクリートの打設状況を示す。埋設型棒の支保工は1.5mおきにパイプサポートにより支保した。コンクリートは横付けしたアジテータ車のホッパから直接打設し、パイプレタで入念に締固めた。写真-4(d)に底版埋設型棒の設置状況を示す。埋設型棒は表面が平滑なため、写真に示すように吸盤状の治具を用いて吊り込むことができた。写真-4(e)に目地材

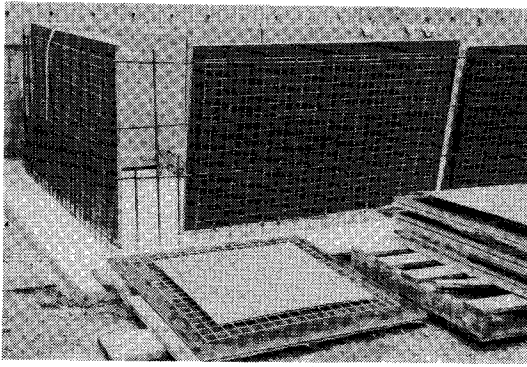


写真-4(a) 埋設型枠取付状況

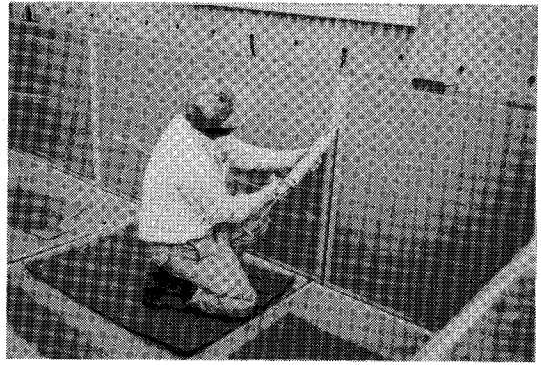


写真-4(e) 目地材注入状況

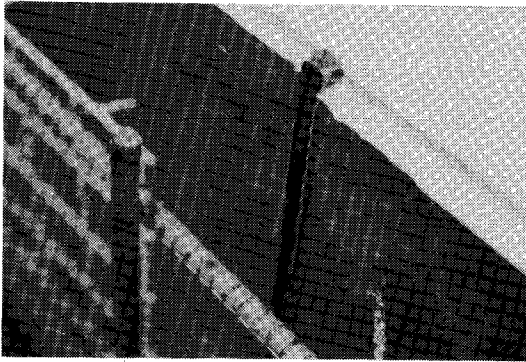


写真-4(b) 目地部プチルゴムシール

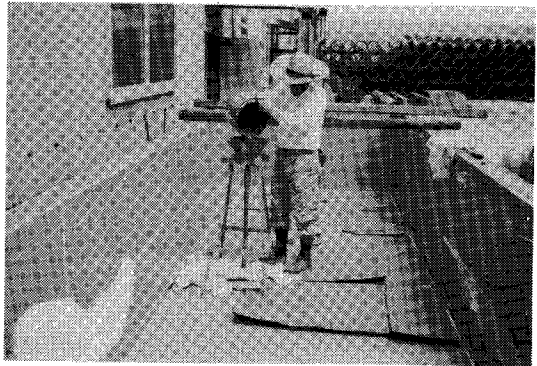


写真-4(f) 裏込めモルタル注入状況

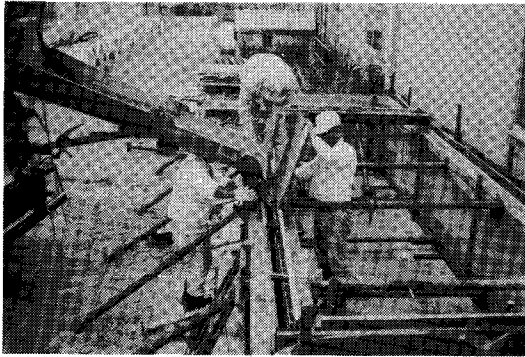


写真-4(c) 側壁コンクリート打設状況

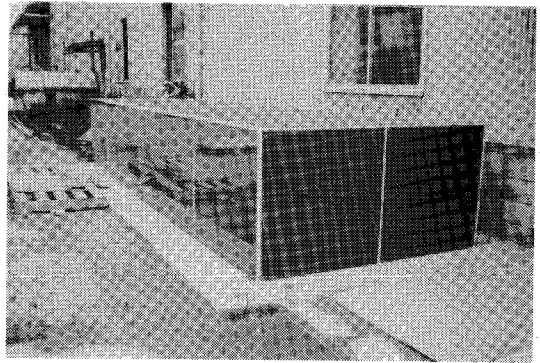


写真-4(g) 全景

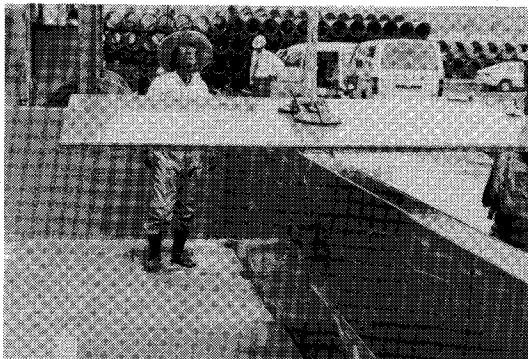


写真-4(d) 底板埋設型枠設置状況

の注入状況を示す。目地材には柔軟性エポキシ樹脂を用いた。注入作業は目地両側にマスキングテープを貼付け、入念に施工した。写真-4(f)に裏込めモルタルの注入状況を示す。注入は過剰な圧力が埋設型枠に作用するのを防ぐため自然落下により行った。写真-4(g)に完成全景を示す。この試験用プールは完成の供用後2年あまりが経過したが現在まで埋設型枠およびコンクリートの劣化は見られない。

5. 結論

本研究は、レジンコンクリートと立体金網とを組合わせた高耐久性埋設型枠（埋設型枠）の実用化について検討したものである。本研究の結果得られた主な成果を列挙すれば次のとおりである。

(1) レジンコンクリート製埋設型枠を用いたコンクリート構造物は、塩害、中性化、凍結融解および化学的腐食等の劣化要因に対し、優れた耐久性を有する。

(2) ビニルエステル樹脂を使用したレジンコンクリート製埋設型枠は耐候性に優れ、景観材料としての機能を十分に満たす。

(3) レジンコンクリート製埋設型枠は打設コンクリートとの一体化が期待できる。また RC はりのひび割れ制御に有効である。

(4) 実用化した埋設型枠は剛性が高く、支保工ピッチが大きくとれるため、型枠組立の省力化が期待できる。また、鉄筋組立のスペーサとしても利用できることから鉄筋の配筋精度を高めることができる。

レジンコンクリート製埋設型枠は、塩分環境にある護

岸、橋脚等の海洋構造物、寒冷地で凍結融解をうける構造物、あるいは、化学的劣化をうける処理施設等、現状では特に厳しい腐食環境とされている部位への適用が有効であると考えられる。

謝辞：最後に、本研究を行うにあたり、九州工業大学の出光隆助教授から貴重な助言と御指導を受けたことに感謝致します。

参考文献

- 1) 内藤隆史, 松岡康訓, 新藤竹文: ポリマー含浸コンクリートによる高耐久埋設型枠, 土木学会誌, Vol. 75, No. 5, pp. 14-15, 1990.
- 2) 笠井芳夫, 池田尚治: コンクリートの試験方法 (上), p. 62, 技術書院, 1993年6月.
- 3) 大和竹史, 小野 定, 松尾一四, 山本孝義: レジンコンクリート埋設型枠を用いた RC 床版の載荷性状, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 774-775, 1993.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 (施工編), p. 102, 1991年9月.
- 5) (社) 日本道路協会: 道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説, 1984年2月.

(1994.1.18 受付)

DEVELOPMENT OF HIGH-DURABILITY PRECAST EMBEDDED FORM UTILIZING RESIN CONCRETE AND THREE DIMENSIONAL STEEL MESH.

Takehiko ONO, Kazushi MATSUO, Kazuo YAMAUCHI, Hisashi TAKENAKA, Toshiya MAEDA and Takeshi YAMATO

This research was carried out to examine the practical application of an embedded form incorporating three dimensional steel mesh and resin concrete. The result was that, while maintaining durability, the use of the mesh in both the resin concrete and in the placed concrete, an integration of the embedded form was achieved as well as a definite improvement in the resistance to cracking. Furthermore it was found that by applying a colored gel coating to the surface of the panel the finished appearance could be made more environmentally attractive.