

# 新しい構造材料としてのレジン コンクリート

伊藤 和五郎\* ・ 姫野 梶彦\*\*

青木 輝雄\*\*\* ・ 村井 信夫\*\*\*\*

## 1. はしがき

石油化学工業、合成樹脂工業の進歩発展により、塩化ビニル樹脂 (PVC)、ポリエチレンを主体とする高分子材料の生産量は急激に伸び、繊維用樹脂を加えると年産150 万tにも達している。もはや高分子材料は日常生活では全く欠かせない材料となっている。このことは高分子材料が多くのごく長所をもっていることにほかならない。

この多くのすぐれた長所を、構造用材料として利用することを考えるのは必然的ともいえるが、現実には、特に土木用構造材料としては、樹脂そのもので作成した物品を極部的な部分に使用する、いわゆるレジン ペーストのような形でセメント コンクリート部材の接着、補修、防水に使用する等、部分的な材料としてごく限られた分野で使用されているに過ぎず、構造物本体の構成材として使用されている例はないようである。これは

- ① 材料費がセメントより高い。
- ② 寿命推定としてはいろいろの方法が考えられているが、実績がないことによる不安感がある。
- ③ 耐熱性に乏しい。
- ④ 公共の事業が主体であるため、新しい材料に積極的に取り組みにくい。

等があげられる。しかし強度特性、水密性、接着性、耐摩耗性、耐衝撃性、耐薬品性等にすぐれた長所を有する素材であるから、その特性を生かせば、軽量化、小形化等でその効果を十分期待されるケースも多いと考えられるから、土木用構造材料として広範囲に利用されることも近いと思われる。電電公社においてもこれらの諸特性に着目し、その積極的利用について約2ヵ年近くの検討

\* 正会員 電電公社技術局調査部門線路構造担当調査役

\*\* 正会員 電電公社技術局調査部門線路構造担当調査員

\*\*\* 正会員 電電公社技術局調査部門線路構造担当

\*\*\*\* 住友電工(株) ゴムプラスチック事業部技師

を行なってきたが、一部の構造物では十分効果が期待できる見通しを得たので、現在までの結果についてその概要を述べることにする。

## 2. レジン コンクリート (Resin Concrete)

セメント コンクリート材料の一部に樹脂を使用したものを、一般的にプラスチック コンクリート (Plastics-Concrete) と呼んでいるようである。

しかし樹脂の使用方法によって、本質的には全く異なった2つのものに分類されると考えられる。すなわち、結合材にセメントを使用したセメント コンクリートに、合成樹脂、合成ゴム等の高分子材料を組み合わせ、引張り、衝撃等の機械的強度の向上、接着力の増加を計ったポリマーセメント コンクリート (Polymer Cement Concrete) と呼べるものと、結合材としてセメントは使用せずに、樹脂、充填剤、硬化剤を使用したレジン コンクリート (Resin Concrete) とである。本稿は後者についての記述である。

レジン コンクリートに結合材として使用可能な樹脂には、不飽和ポリエステル樹脂、フラン樹脂、フェノール樹脂、エポキシ樹脂等がある。しかし材料価格から材料体積の大きい構造物で、実用性が高いのは不飽和ポリエステル樹脂である。

レジン コンクリートは前述のように樹脂を砂利、砂の結合材として使用するほか、充填材、硬化剤を使用し、水は使用しない。その一般的な長所、欠点は樹脂のそれに似ているが、セメント コンクリートと比較すると次の通りである。

### (1) 長 所

- ① 機械的強度特性がよい。
- ② 水密性がよい。
- ③ 耐摩耗性がよい。
- ④ 耐薬品性がよい。

- ⑤ 電気絶縁性がよい。
  - ⑥ 硬化時間が早い。その調整も容易である。
- (2) 欠 点
- ① 耐火特性が劣る。
  - ② 硬化収縮が大きい。
  - ③ 価格が高い。

### 3. レジン コンクリートの材料

#### (1) 樹 脂

結合材として使用するが、その種類は前述のようにいろいろなものがある。これらはいずれも硬化前は常温では液状であるから、骨材、充填材とも比較的容易に混合することができ、硬化剤の作用により二、三日で最終強度の90%程度に達する。各種樹脂の中では価格が安く、使用方法も容易な不飽和ポリエステル樹脂が実用的といえるが、この中でも細くは使用目的により高粘度のものから低粘度のものに分類される。レジン コンクリート用としては、スチレンモノマー 20~40%程度の低粘度のものが使いやすい。

#### (2) 充 填 材

樹脂に充填材を添加する主目的は、単位体積あたりの価格の低下、レジン コンクリートの耐久性、安定性および剛性の向上である。充填材としては炭酸カルシウム、エメリー、アルミナ、珪石、石英等の粉末、シリコンカーバイド粉、酸化鉄等がある。この中で炭酸カルシウムが安価で入手しやすいので一般的である。炭酸カルシウムは石灰石を粉砕し微粉化したもので、重質と軟質がありレジン コンクリート用には作業性から重質のものが適当である。

#### (3) 骨 材

砂利、碎石、砂が安価で一般的であることはセメントコンクリートと同様である。このほか、砂鉄、磁器粒、樹脂粒があり、特に人工材は高価にはなるが、素材自体の特性を人為的調整できるので、使用目的によっては効果的である。天然材の選定条件はセメントコンクリートと同様である。ただし、含水率が大きいと強度が低下するか押えら、含水率は少なくとも重量比 0.25% 以下になる必要があるため、人為的な乾燥を行なうことが望ましい。

#### (4) 硬化剤または触媒

樹脂の硬化時間を調節し、また温度差による変化を調整するために使用する。これらの種類、使用量は樹脂の

性質、気温等との相関性が強く明確にしたいが、一般的には微量であり、レジン コンクリートの特性に対し、この影響はほとんどないといえる。

## 4. 配合と特性

レジン コンクリートの配合は、使用目的、充填材に対する考え方により異なるが、同一配合であっても樹脂の銘柄、骨材の形状、粒度などによりその性質は違ってくる。また成形条件にも対応させる必要があるため、最良配合比を決めるには実験により求めるのがよいと思われる。配合の基本的事項を要約すると次のようである。

#### (1) 樹 脂 量

樹脂の使用量と強度の関係は、樹脂量が 3% 程度まではその増加に伴い強度は増大するが、12%程度以上になると樹脂の分離、収縮、そりなどが著しくなる。従って、攪拌、成形などの作業性等を総合的に考慮した最適量は個々に見出す必要がある。

#### (2) 充 填 材

充填材の使用目的は前述したが、あまり多く使用すると粘度が高くなり、攪拌時の作業性が悪く、しかも硬化後の圧縮強度および曲げ強度は低下する（詳細は「材料」Vol. 16, No. 167 を参考にされたい）。

また粒度については、大きいほど機械的強度を低下させる傾向があり、強度的には微粒子のものを使用するのがよいが、ワーカビリティに対する影響を考え、実用的には適当な粒度のものを組み合わせて使用するのが望ましい。

このように、充填材については攪拌時の粘度および硬化後の機械的強度への影響を考え、樹脂量との関連でその量および粒度を決めるのが適当である。

#### (3) 砂利、砂の量

細骨材 (0.8 mm 以下)、中骨材 (5 mm 以下)、粗骨材 (20 mm 以下) で各種の配合設計により実験を行なった結果では、細砂量の変化が強度には最も大きく影響し、その量が 25~30% 付近で最大強度を示した。

レジン コンクリートは、樹脂量、骨材の粒度、充填材の種類等により、混合、打設の作業性は大きく変わるので、成形対象物ならびに打設条件等により、適切な配合を見出すための試験練りを行ない、確認することが望ましい。

電電公社で現在試作実験中のブロックマンホールおよびシールド セグメントについては、実験計画法による配合実験で求めた。その最適配合例は表-1 に示す通りである。

表一 レジン コンクリートの最適配合例

配 合	配 合 比 (%)
不飽和ポリエステル樹脂	10.5
炭酸カルシウム	12.0
細骨材 (砂) ( $\phi 0.1\sim 0.8$ mm)	20.0
中骨材 ( $\phi 0.5\sim 5.0$ mm)	25.0
粗骨材 ( $\phi 5.0\sim 20$ mm)	32.5

注：このほか若干の添加剤，触媒および促進剤等を添加する。

## 5. レジン コンクリートの諸特性

### (1) 機械的強度特性

表一の配合による各種機械的強度は表二に示す通りである。

表二 最適配合例におけるレジン コンクリートの特性値

特 性	強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
圧縮強度 (JIS A 1114)	$\bar{x}=1170$	$\sigma=\pm 40$
引張強度 (JIS A 1113)	$\bar{x}=105$	$\sigma=\pm 10$
曲げ強度 (JIS A 1106)	$\bar{x}=185$	$\sigma=\pm 15$
曲げ弾性率 (初期弾性率)	引張側 $\bar{x}=3.28\times 10^5$ $\sigma=\pm 0.16\times 10^5$	
動弾性率	圧縮側 $\bar{x}=3.63\times 10^5$ $\sigma=\pm 0.21\times 10^5$	
せん断強度	3.5~3.7 $\times 10^5$	
せん断強度	100~120	
付着強度 (鉄筋)	100~120	

### (2) 劣化特性

土木構造物は、その使用環境において長期間安定した強度を維持し、信頼して使用できることが第一に要求される。レジン コンクリートはセメントコンクリートの2世紀近い使用実績にくらべ歴史が浅く、構造物の材料としての過去の実績は全くなく、耐久性に関する資料は皆無に等しい。しかも結合剤として有機材料を用いるため、材質的な化学的劣化および物理的劣化等に対して十分検討を加える必要があり、次のような劣化促進試験を行なって長期耐久性の推定を行なった。

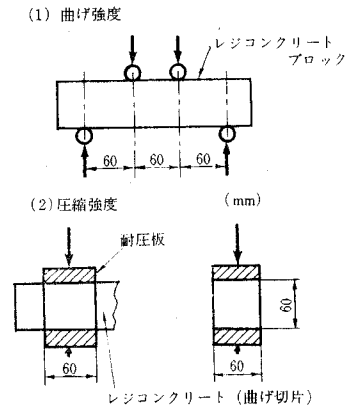
劣化要因としては主として地下構造物に使用される状態を想定し、① 耐水性、② 耐薬品性、③ 耐候性等を取り上げた。試験方法は60×60×240 mmの試験片を各種条件下において強制劣化させたのち、図一に示す方法で曲げ試験<sup>a)</sup>、圧縮試験<sup>b)</sup>を行ない、初期強度と比較して強度の低下から劣化の程度を判断した。

#### a) 耐水性

セメント コンクリートは水に反応しないが、レジン コンクリートは結合剤の樹脂が加水分解を起こし劣化する性質があり、耐水性について検討する必要がある。促進試験では、反応機構が常態の場合と同様に進行するこ

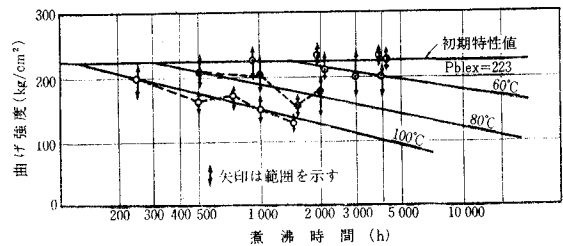
- a) JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法4項、5項による。  
 b) JIS A 1114 ハリの折片によるコンクリートの圧縮強度試験方法4項、5項による。

図一 強度試験方法



が条件である。ポリエステル系樹脂の加水分解は浸漬される水の温度が高いほど起こりやすいと考えられるので、劣化促進試験としては、条件が最も厳しい煮沸試験を行なって、試験片の強度の低下を測定し、耐久性の推定をした。図二はその曲げ強度の変化を示したもので

図二 煮沸試験による曲げ強度の変化



とある。これによると、60°C・1500時間浸漬の場合の強度低下はほとんどないが、100°C・1500時間浸漬の場合には約25%の強度低下が認められた。しかし、この場合でも150 kg/cm<sup>2</sup>の強度を保持している。常温浸漬と煮沸促進条件との関係は明らかではないが、MIL-SPECでは、FRP (強化プラスチック) の Wet Conditionとして2時間煮沸を1ヵ月浸水に相当させている例から考えると1500時間煮沸は60年以上に相当する。このことから推定すると、レジン コンクリートは十分実用に供しうる耐水性をもっているものと考えられる。

#### b) 耐薬品性

土木の地下構造物は、地下水のほかに工場廃液、温泉地などの酸性、またはアルカリ性土壌に遭遇することも十分考えられる。このため、酸、アルカリに対する実験を行なった。実験に先立ち、実際の土壌の酸性、アルカリ性の濃度がどの程度であるか調査したところ、酸性地では群馬県草津温泉の pH 1.3~1.5、アルカリ性地では石川県輪島市根豚の pH 9.5~10.0 が比較的顕著なものであった。これらの条件を考慮して、強制劣化試験とし

ては過酷な 5~100 倍に相当する濃度、すなわち酸に対しては pH 1.0~2.0 の H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、アルカリに対しては pH 10~12 NaOH の溶液中に試験片を 40°C、60°C、80°C、おのおのにつき 20~90 日間浸漬したのち、曲げ、圧縮試験を行なった。なお、同時にセメント コンクリートについても同様の実験を行ない比較してみた。これらの結

図-3 薬品による圧縮強度の劣化

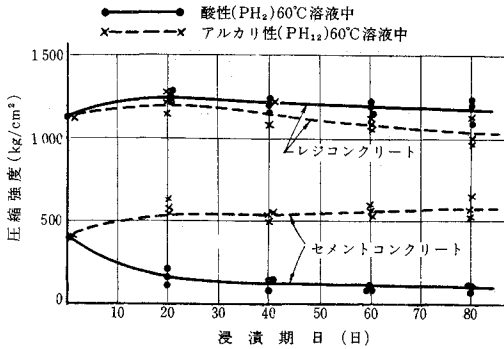
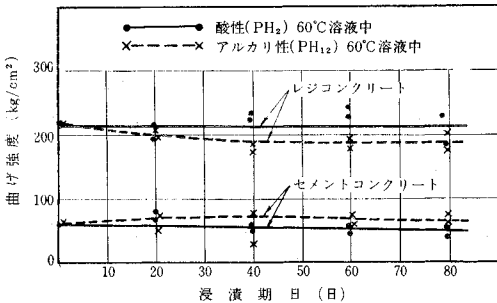


図-4 薬品による曲げ引張強度の劣化

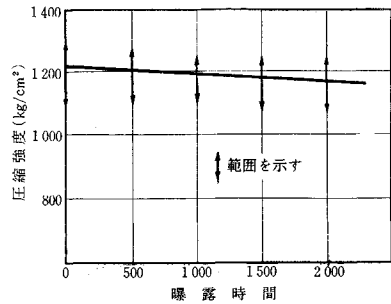


果の一部を 図-3, 4 に示す。強度に対しては、酸、アルカリの濃度より浸漬温度の方の影響が大きい。すなわち、40°C では強度の低下はほとんどなく、60°C・80 日浸漬では圧縮強度の変化は少ないが、曲げ強度は約 10% の低下を、さらに 80°C・90 日浸漬では圧縮強度、曲げ強度ともに約 20% の低下を示した。これに対して、セメント コンクリートの場合は、アルカリに対しては変化はないが、酸に対しては 60~70% もの強度低下を示した、従って、特に酸性劣化を生ずる地域では、レジン コンクリートの方がセメント コンクリートより有効な材料であると考えられる。

c) 耐候性

耐候性については、紫外線および温度収縮に対する劣化を考え、ウエザオメーターによる照射およびヒートサイクル試験を行なった。前者については供試体に 2 灯式カーボンアーク電極で 2000 時間まで照射し、各種強度試験を行なった。その結果を 図-5 に示す。後者については、試験片と

図-5 紫外線劣化による曲げ強度の変化



マンホールの上ブロックに対し、60~20°C・8 時間を 1 サイクルとした 5~20 サイクルのヒートサイクルをかけ、おのおの場合について強度の測定、およびクラックの発生の有無を調査した。これらの実験結果によると、いずれの場合も強度の劣化は全くなく、クラックの発生もみられなかった。

(3) 吸水性

レジン コンクリートに水が浸透する速度は、環境温度、製造方法、樹脂と骨材の比率による組成等に影響され、一般にポリエステル樹脂の吸水量は次式に示すように一定の飽和現象があり、吸水は拡散であるといわれている。すなわち

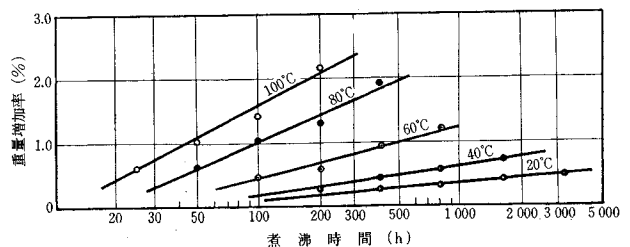
$$W = S(1 - 0.811 e^{-\frac{p}{d^2 t}})$$

ここに

W: 吸水量, S: 飽和限界, d: 試料の厚さ, t: 時間, p: 水の透過率

なお、実験は円筒形の供試体に 10 kg/cm<sup>2</sup> および 20 kg/cm<sup>2</sup> の圧力水を 48 時間加え透水現象を調べたが、そのような現象は全くみられなかった。さらに前述の煮沸試験終了後の試験片について重量増加率を調べたところ、200 時間および 400 時間煮沸後の測定では、おのおの 0.17%, 0.31% の重量増加が認められた程度で、これを 図-6 に示す樹脂のみの注形品の重量増加率の実験結果と比較すると、レジン コンクリートの吸水性の方がかなり低いといえる。これは、加水分解の対象となる樹脂量が 100% に対して 10% と少ないこと、骨材等の増

図-6 煮沸試験による樹脂注形品の重量増加率



量材が加水分解に必要な水の浸透をしゃへいする効果をあげていること等が、その原因と推定される。

#### (4) 凍結融解抵抗性

寒冷地を想定し、凍結、融解の繰り返しを受けた場合の劣化を観察するため、10 cm×10 cm×38 cm の供試体の水中における急速凍結および融解を、3.5 時間を 1 サイクルとして繰り返し、供試体の重量減を ASTM C 290-63 T の試験方法により行なった。その結果、210 サイクル以降で 0.1% の重量減がみられた程度であり、前記の吸水率の低いこともあわせ考えると、すぐれた凍結融解抵抗性をもっているものと考えられる。

#### (5) 耐火性

樹脂の欠点の一つとして熱に弱いことがあげられるが、レジン コンクリートも火災等で長時間加熱されると、樹脂分が燃焼して部分的破壊を起こす。このため、電電公社のマンホールに対しては、ケーブル鉛工用のトーチランプが火災の対象として考えられるので、耐火実験として、炎芯先端温度約 1000°C のトーチランプの炎を 10 cm 離れた位置からマンホール壁面にあて、そのときの状況を観察した。その結果は表-3 に示す通りで、損傷は炎芯の局部的範囲にとどまり、炎芯からの距離に比例して表面温度は急激に低下するから、特に耐火性の大きく要求されるもの以外は、実用上の支障はないものと考えられる。

表-3 レジン コンクリート燃焼実験測定表

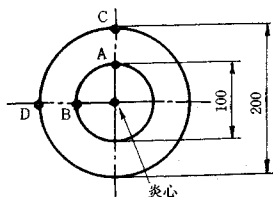
時間 (min)	測点温度 (°C)				燃 焼 状 況
	A	B	C	D	
1	170	115	90	70	30~40 sec で黄色い炎が少しする。トーチランプをはずすと 5 sec で炎はなくなり白煙となる。
2	175	130	90	70	炎が広がり 40~50 φ の範囲が白くなり、中心部が赤味をおび、煙が目に見える。
3	190	130	90	70	炎が 60~70 φ に広がり、臭気が強くなる。
4	220	130	95	70	50 φ 程度が赤くなり臭気が強くなる。
5	260	180	100	70	中心部 50 φ が白くなり、鉄棒でたたくと厚さ 5 mm の表面白色部がはく離する。

注：5 sec 燃焼時の煙の中のガス濃度 (単位 ppm)

CO<sub>2</sub> 500~1000

CO 0 ~ 20

スチレン 0.5



#### (6) 疲労特性

繰り返し荷重に対する特性の変化の調査は図-7 に示す方式で曲げ疲労試験を行なった。その結果、供試体の S-N 曲線は図-8 の通りである。これによると、耐久限界応力度は初期応力の 60~70% 程度と考えるのが適当であると判断される。さらに、図-9 は 72%、57%

図-7 疲労試験方法の原理図

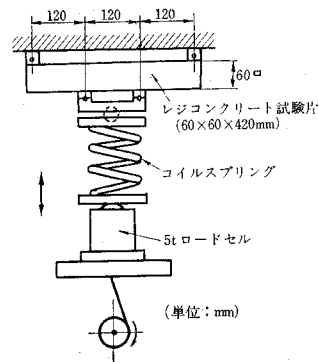


図-8 曲げ疲労試験による S-N 曲線

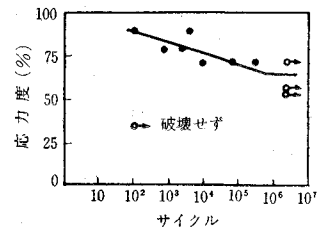
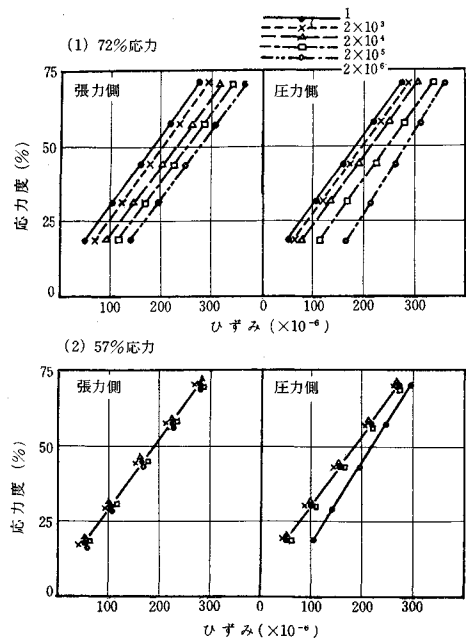


図-9 レジン コンクリートの曲げ疲労試験後の S-S 曲線



の応力に対応する荷重を200万回繰り返し載荷した供試体のS-S曲線(応力~ひずみ曲線)を示したものであり、これによると、弾性率の低下、永久ひずみの発生はほとんど認められていない。

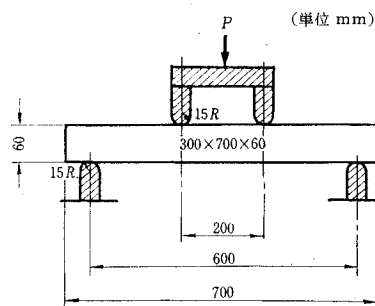
### (7) 不純物の混入と強度特性

材料に不純物が混入されたときの強度への影響について、混入の多い水(骨材の水分等)、塩分、泥土、重油を選び、それぞれの含有率を重量百分率で0~5%の範囲で変化させ、圧縮、曲げ強度を測定した。その結果、水の含有量の影響が最も大きく、0.5%で約30%の強度低下を示したが、他の不純物については90%以上の強度を保持し、比較的影響が少ないものといえる。なお、水、重油は約2%以上になると成形不能の状態になるが、完全に生産管理された工場で作成される限り、現実的にはこのように多量の不純物が混入することは、まず考えられないことである。

## 6. レジン コンクリートの補強

レジン コンクリートも、砂利、砂等の骨材を使用すると、曲げ強度は、圧縮強度に比べ1/9程度と小さい。このため、セメント コンクリートの場合と同様に、必要に応じ、鉄筋等により引張り側を補強することが考えられる。実用的補強筋としては、鉄筋、グラスファイバー筋があげられる。この両者による補強効果について30cm×6cm×70cmの板状の試験片をつくり、筋の種類、量を変え、図-10により強度試験を行なった。この結果と無筋の試験片(同一のレジン コンクリートで作製した)による強度試験の結果とを比較したものが、表-4である。この場合のグラスファイバーの120エンド×30本は丸鋼6φ×8本の場合の引張り破壊荷重とほぼ等価の

図-10 試験装置

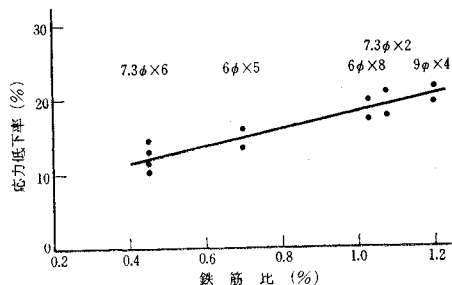


量である。

### (1) 曲げ引張りについて

鉄筋による補強の場合、ヘアークラックの発生は無筋の場合より若干早く、その低下率は10~20%で、これを鉄筋比よりみると、図-11のように鉄筋比の小さいも

図-11 鉄筋比とヘアークラック発生応力低下率



のほど低下率は少ない。破壊応力度は鉄筋量に比例して上昇する。丸鋼の場合は荷重が鉄筋の降伏点を過ぎると付着部がずれ、鉄筋が抜ける。グラスファイバー、異形鉄筋(高張力)では試験片の破壊とともに筋が切れ、抜けるようなことはない。

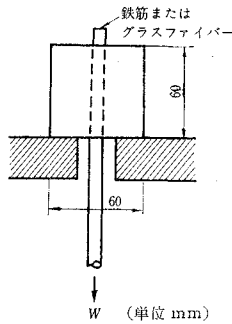
表-4 鉄筋、ガラス筋による補強の試験結果

補強筋の種類	試験片の寸法			曲げひびわれ			曲げ破壊			底面からの鉄筋位置 (cm)	備考
	幅 (cm)	高さ (cm)	断面係数 (m <sup>3</sup> )	荷重 (kg)	モーメント (kg-cm)	応力度 (kg-cm <sup>2</sup> )	荷重 (kg)	モーメント (kg-cm)	応力度 (kg-cm <sup>2</sup> )		
R6φ×5本 無筋	30.0	5.95	177.0	2390	23900	135	2850	28500	161	1.7	鉄筋がすべる
	32.0	5.80	179.0	2850	28500	159	-	-	-	-	
R6φ×8本 無筋	30.0	6.00	180.0	2310	23100	128	3100	31000	172	1.7	鉄筋がすべる
	30.3	5.85	173.0	2910	29100	168	-	-	-	-	
G.F.×30本 無筋	29.7	6.00	178.0	2770	27700	155	4000	40000	220	1.7	ガラス筋全破断
	31.0	5.60	162.0	2740	27400	169	-	-	-	-	
R9φ×4 無筋	30.0	6.00	180.0	2430	24300	135	3320	33200	203	2.0	鉄筋がすべる
	30.1	5.80	169.0	3010	30100	178	-	-	-	-	
D.7.3φ×2本 無筋	29.4	6.08	181.0	3070	30700	170	4760	47600	263	2.0	鉄筋破断
	30.5	6.00	183.0	3510	35100	192	-	-	-	-	
R6φ×5+D.7.3φ×2 無筋	29.8	6.10	182.0	2405	24050	130	6960	69600	376	2.0	鉄筋破断
	30.5	5.90	177.0	2830	28300	160	-	-	-	-	

## (2) 補強筋の付着強度

鉄筋、グラスファイバーについて 図-12 に示す方法

図-12 付重力試験方法



で 6 cm×6 cm×6 cm の中心を鉄筋等を埋込み引き抜き強さを測定した。その結果は表-5 の通りである。丸鋼

表-5 鉄筋、グラスファイバー筋の引抜力 (kg/cm<sup>2</sup>)

筋の種類	6 mm 丸鋼	9 mm 丸鋼	7.3 mm 異形棒鋼	G.F 筋 (120エンド)
引抜力 (平均)	119	115	165	305

の場合は、荷重が降伏点強度前後になると付着部で抜け出す。異形棒鋼の場合はレジン コンクリートが鉄筋にそって破壊し、グラスファイバーについては筋が破断した。

これらのことから、鉄筋の場合の破壊強度は鉄筋量に比例して大きくなるが、ヘアークラック発生荷重は逆に小さくなる。また鉄筋の降伏点を過ぎると、丸鋼では付着部が抜けるが、異形棒鋼はその破断強度と、供試体の曲げ圧壊強度がほぼ一致しており、効果的であることを示している。

グラスファイバーの補強効果は、異形棒鋼よりは劣るが、丸鋼よりは良く、さらにコンクリート中の樹脂と完全に一体化するという点で、レジン コンクリートの補強材として有効なものの一つと考えられる。

## 7. 実施例—マンホール ブロックの場合

前述のようにレジンコンクリートはすゝれた多くの特性をもっており、耐久性もセメント コンクリートと大差はないと考えられる。反面、耐火性、価格、生産、管理等に幾分の問題は残しているが、軽量化、小型化の効果が、かつ工場生産が適当であるようなコンクリート二次製品により多くの特徴を期待できると思われる。このような観点から、電電公社においては地下ケーブル用のマンホール、ハンドホール（マンホールよりさらに小さいもの）、直径 2 m 程度以下の小断面シールド用セグメント、ケーブル埋設標識等に利用効果が期待されるの

で、その開発研究を進めているが、その中でも特に利用度の高いマンホール ブロックでの例についてその概略を述べる。

## (1) 設 計

レジン コンクリート製ブロックマンホールは、写真-1 および 図-13 のようにほぼ中央部で二分された上下  
写真-1 直線 3 形レジン コンクリート製  
ブロック マンホール

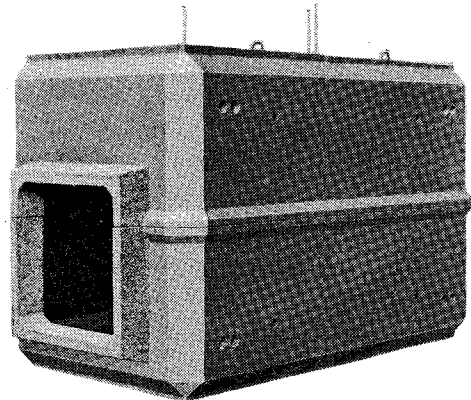
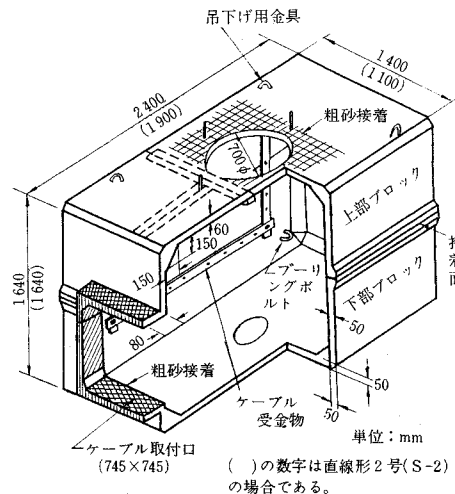


図-13 直線形 3 号 (S-3) の寸法



ブロックで構成され、上床板には出入用開口部、両端面には管路取付用開口部が設けてある。

設計計算は、上下ブロックの接着面の試験結果から、接着により上下のブロックは完全に一体化することが確認されたので、ラーメン構造として解析した。このことは、次項の実物による静荷重実験、京大工学部での模型実験等における応力分布の測定でその妥当性は確認された。計算に使用した許容応力度は 表-6 の通りである。

なお計算結果では、無筋コンクリートでも理論的には安全であるが、さらに安全性を期して上床板には直径 6 mm および 10 mm の異形鉄筋を挿入して補強した。

表-6 レジン コンクリート許容応力度

種 別	破壊応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	許容応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
圧 縮	1000	286.0
引 張	170	48.6

注：許容応力度の安全率はデータのばらつきを統計的に処理し，破壊応力に対し 3.5 とした。

(2) 実物実験

設計計算ではラーメン構造として解析したが，実際に埋設された状態においてマンホールに発生する応力は，舗装，土質等の相違および開口部（作業者の出入りおよび管路取付用）の影響等により理論値と大きく異なる懸念があり，さらに道路工事等による衝撃荷重に対する危険もある。このような時間を究明するため，実物による静荷重での破壊試験，埋設状態での T-20 による活荷重の載荷実験，道路工事施工機械による衝撃実験等を繰り返し実施した。静荷重による破壊実験では，下床版ハン

チ付近に最大応力が発生し，クラックも下床版に最初に発生する。これは上載荷重が作用した場合，下床版にはさらに自重が加わったものが反力として発生するから当然と考えられ，応力分布も計算値によくマッチしている。最大応力発生時の荷重との関係を表-7 に示す。し

表-7 静荷重によるマンホール破壊試験

マンホール	荷 重	破壊荷重 (t)	内のり寸法 (cm)
	ヘアークラック発生荷重 (t)		
直線 2 号型	約 40	55~70	(長) (幅) (高) 180×100×150
直線 3 号型	約 36	50~60	230×130×150

かし，実態に応じた埋設実験になると状況は大分異ってくる。埋設実験は，実際に設置するのと同じ状態に地中にマンホールを設け，その上を 20t 車の速度，通過位置を変化させ，そのときマンホールの側壁，床版の各部に発生する動ひずみを約 200 点にわたって測定した。この値を応力度に換算した最大値を表-8 に示す。最大ひ

表-8 (最大) 発生ひずみの応力換算値

マンホール	圧 縮		引 張	
	最大ひずみ (10 <sup>-6</sup> )	換算応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大ひずみ (10 <sup>-6</sup> )	換算応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
レジン (直-3)	132	40.5	115	34.5
レジン (直-2)	113	33.9	105	31.6
セメント (直-3)	105	22.0	89	18.7

注：① 換算にあたってのヤング率，セメントコンクリート  $E_C=2.1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>  
レジンコンクリート  $E_R=3.0 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>

② 破壊応力度，セメントコンクリート，圧縮 210 kg/cm<sup>2</sup>  
レジンコンクリート，圧縮 1000 kg/cm<sup>2</sup> 引張り 170 kg/cm<sup>2</sup>

ずみは上床版の通過荷重の直下，上床版のリブの付け根，上床版ハンチの付け根，上床版開口部に生じ，静荷重実験とは逆に下床版には大きなひずみは発生しない。計算値と違って下床版ならびにその周辺に大きなひずみを生じないのは，マンホール側壁と周辺の土砂との摩擦力が作用するためと考えられ，従来からのこの種構造物（洞道，地下道，暗きよ等を含む）の設計時の荷重想定の方法は一考を要する点と思われる。

工事機械による衝撃試験は，実際どおりに埋設した供試体で，舗装破砕機（おもりの重量 700 kg）による舗装破砕時，パワーショベルによるショベル落下時における発生ひずみを，舗装種別，土かぶりを変化させて測定したが，舗装破砕機のおもりで，躯体を直接打撃する以外は全く問題とならない値であった。

8. む す び

レジン コンクリートは，使用する樹脂，充填材，骨材その他の配合条件によりその性質は異なる。本報告は使

用目的を決めて適正配合を求め，それにより供試体を作成し，各種実験を行なった結果をもとに，レジン コンクリートの実用上における性能について検討したものである。さらに深く検討すれば，いっそう明確にその性質を究明することは可能であろう。これらの点は今後の研究をまたねばならないが，今回までの検討でも，そのすぐれた特性がある程度は明確になり，実用性は立証されたと思われる。終りに紙数の関係から省略したデータが多く，結論のみを略記した部分が多いことを読者の方々にお詫びするとともに，本調査の過程でご協力いただいた住友電工（株），および（株）白山製作所の関係諸氏に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) MIL-SPEC, F-9084 A, Fabrics, Woven glass, finished, for plastic laminate.
- 2) 岡田 清・村井信夫ほか：材料, Vol. 16 No. 167
- 3) 村井信夫・水野 進：高増量樹脂（プラスチックコンクリート）

(1989. 8. 6・受付)