

第2回GRC欧州視察団報告（その2）

1. 発表論文の要旨

SESSION 1.

- (1) GRC製品用の新耐久性セメント
(calcrete)

(要旨) カルシウムサルフォアルミネート (CSA) をベースとしたセメントで、1980年代の中頃に開発された。急結性で早強性、低収縮性、低アルカリ性である。現在までに数千t製造、販売されており、GRCの長期

の耐久性を向上させた。

[calcreteを用いたGRCの特性]

調合組成	セメント	66
	砂	33
	ARG	5
	減水剤	0.75
	水/セメント比	0.33
凝結性	可使時間	60分 (遅延剤添加)
収縮性		0.02%

[calcrete GRCの特長]

① 脱型が早い 1.5 ~ 2 時間……生産効率が良く、コスト低減可能

② 表面にタイル打ちが可能

(2) ポリマー改良による GRC の改善点

(要旨) フォトンポリマーによる GRC の改質は、耐久性の向上だけでなく多くの付加的な利点をもたらす。それは初期の湿潤養生の不要、乾燥収縮の低減、吸水率の低下、フレッシュモルタルの分散性の向上などである。

以上の特長は世界中の物件で証明されているにもかかわらず、多くの製造者に過小評価されている。

[フォトン ポリマー添加による利点]

・ワーカビリティ……

ポリマー粒子が球形なので混合物に可塑性を与え W/C 比を減少できる。結果として LOP を改善する。

・養生……

5 vol % のポリマー添加は湿潤養生を不要とする。

・乾燥収縮と湿潤膨張……

ポリマー添加 GRC は、無添加のものに比較して小さくなる。

・耐久性と耐候性……

GRC を劣化させる 2 つのメカニズムがあるといわれている。1 つはガラス繊維ストランド内部でのセメント水和物の成長によるマトリックスと、ガラス繊維の結合力の増大によるもの、もう 1 つはアルカリ雰囲気中のガラス繊維の侵食である。GRC に添加されたポリマーはガラス繊維の表面やマトリックスの空隙を埋めて上のメカニズムが働かない作用をもたらす、耐久性を向上させる。

(3) GFRC における耐久性と収縮に関する考察

(要旨) 米国において GRC の耐久性改善と

いう点から、2 種類の新しいセメントが研究された。New Cement 1 は米国製のもので、New Cement 2 は米国製ではない。この研究は乾燥収縮、強度、強度の経時変化及び製造条件の検討などである。

[New Cement の特徴]

・OPC、New Cement 1、New Cement 2 を使用し、C/S、W/C を変えて 16 種の試験体を作製した。

・室内の乾燥条件では 2 つの New Cement は飛躍的に収縮が小さくなった。

・高温乾燥条件では OPC と同等かそれ以上の収縮があった。特に New Cement 2 は W/C、C/S が変わると OPC の約 2 倍も収縮した。New Cement 1 は OPC と同等である。

・New Cement 1 はクエン酸を遅延剤とし 30 °C の水温下でも 30 分の可使用時間が可能であった。

・New Cement は 4 時間以内に実用強度を発現する早強性を示す。

・New Cement は GRC の劣化を低減することができるが米国で使用するには更に追加のテストが必要である。

(4) GRC に混合繊維複合体を使用する有用性
地下採掘における適用 ——

あるケーススタディ

(要旨) 金の採掘では、多くの砂金を含有している水を大量に地表へ輸送し処理して砂金を回収する。南アでは従来アスベスト繊維入りセメントの半円型のチャンネルが使用されていたが、脆いため、施工中に破壊することが多かった。1970 年代の中頃 Crinaken によって、GRC 製品が紹介され、破損が激減し、トータルコストでメリットをもたらした。最初の GRC 排水溝は長さ 1.5 m の 400 mm の半円で重さは 25 kg であった。

次にスプレー脱水法による製品では 1.8 kg の軽量となった。その後南ア・ランドの交換レートの低下により、さらに徹底したコストダウンが要求され、硝子繊維以外の繊維が検討された。現在では高弾性ポリプロピレン繊維ネットと硝子繊維を複合した製品が初期において剛性が大きく、高耐久性と高靱性を持つ製品として好評である。

(5) 改良セメントマトリックスを使用した
高耐久性 GRC

(要旨) '89 年の GRC A 会議で Saint-Gobain 社が鉱物とポリマーによる改良マトリックスを使用した GRC を発表した。その後反応性の高いメタカオリンとアクリルポリマーを使用する新型耐久性組成の検討がなされた。この新しい組成による GRC は各種促進試験（熱水浸漬 30℃、50℃、60℃、乾湿繰り返し凍結融解テスト、中性化試験、2 年間の屋外暴露など）の後でも高い許容歪みを持っており、GRC 製品の信頼度を増すことができた。この新しい Saint Gobain System は GRC の信頼を回復させ、特に GRC の耐久性が要求される外壁分野で大きい役割

を果たした。

(6) GFRC の収縮におよぼす砂の粒度構成の影響

(要旨) GRC のダイレクトスプレー製品の調合設計は、初期の C/S = 3.0 の富調合から C/S = 1.0 ~ 1.25 とかなり貧調合のものになってきている。従って砂の性質が重要となって来ているが現在の貧調合では明かになってない。多くの種類の砂や、砂/セメント比、粒度分布などが検討された。

結果は

- ① 常識の範囲で、砂の粒度構成は収縮や強度への影響は小さい。
- ② 粒度径 30 ~ 40 μ の砂は粒度径 50 ~ 70 μ の砂より収縮が小さく、圧縮強度がやや大きくなる。
- ③ C/S の比の変化は圧縮強度に影響する。
- ④ 曲げ強度と圧縮強度に強い関係はない。

SESSION 2.

(1) 電気通信管とかんがい用水路

(要旨) 1950 年以来、大小 1000 以上のかんがい施設の建設がインド政府によって行われている。人口増加に対する農産物の増産計画によるもので、GRC 製のダクトは軽く、強い

ことから施工が容易であり、表面の
ち密なことから浸透による水の損失
が少ないことなど多くのメリットが
あった。電気通信用のダクトはすで
にボンベイ市で1000kmを超える
実施例がある。光ファイバー通信用
ラインで、GRCのダクト内に光ファ
イバーの配されたPVC管を設置す
る。このGRCダクトの工法は交通
量の多い道路での施工で施工期間を
短縮できるメリットがある。

(2) デカソロン

—— 表面排水溝のチャンピオンの物語 ——

(要旨) 英国では従来オルソンと呼ばれるプ
レキャストコンクリートのチャンネ
ルが大容量排水溝として使用されて
おり、伝統的な下水溝や下水管に比
較して多くのメリットがあった。し
かしプレミックスGRC製のスチ
ールスタッドフレームで補強されたデ
カソロンは軽くハンドリングの良さ
や水の流れに対する摩擦損失が小さ
いことからプレキャストコンクリ
ートに比較してさらに優位性がある
ことがわかった。

(3) 超高層ビルのGRC外壁施工例

(要旨) 従来のGRCの乾燥収縮の大きいこ
とに起因するクラックや高湿環境下
での劣化などを改良した、低収縮、
低アルカリ性のGRCセメントを用
いたGRC-CGCを開発した。
GRC-CGCが日本で初めて超高
層ビルの外壁に採用された大川端リ
バーシティ21 J棟の施工例を紹介
する。

〔大川端リバーシティ21

J棟のGRC外壁概略〕

大川端リバーシティ21 J棟；

31階 高さ111m SRC造

GRC-CGCパネル；

梁・柱型パネル1024枚 (5800㎡)

ファーリングパネル69枚 (370㎡)

低層部外壁 118枚 (1370㎡)

表面仕上げ；

セラミックタイル打ち込み、フッ素樹脂塗装
外壁パネルの特徴；

製造 ダイレクトスプレー法、スチールス
タッド構法、設計風圧 480kg/㎡

(4) スリムラインII

(要旨) 現在世界全体でのGRCの生産は
84%がスプレー法によるものであ
る。スプレー法はGRCの発展の基
礎を作り、GRCを世界の建築材料
の一つとして受け入れられるように
した。しかし、生産性の悪いこの方
法はGRCの発展を遅らせた。
1971年に多くの制限に打ち勝っ
て、競争力のある、劣化のない、構
造的なGRCが水路管（スリムライ
ン）として英国のコンクリートパイ
プメーカーのARCグループによっ
て開発された。スリムラインの開発
を通じてGRCの幅広い潜在能力の
知見が得られ、使用材料のコストを
最小にする方法を開発し、1981
年に小口径で高圧用のパイプスリ
ムラインIIが開発された。

SESSION 3.

(性能、設計、試験)

(1) ゴムモールド法による現場での歴史的像の
再生

シリコンコートによるモールド型を取り、石
膏、GRG、コンクリート、GRC、GRPで
補強します。

そして、コピーの製作は、コンクリート、ポ
リマーコンクリートあるいは、GRCが使用さ

(次ページの写真参照)



れます。

(2) ポリマー混入ガラス繊維強化コンクリートに関する自然劣化の影響

アメリカ合衆国東南部において、5年間、苛酷な条件の高温多湿環境にさらして、建築用ポリマーGFRCパネルの材料挙動を研究した。

結論

1. P-GFRCは、苛酷な自然環境に5年間暴露した後も、実質的に何らの曲げ強度劣化も無い。

現行の促進劣化技術の予測するところでは、同一期間の劣化は約50%である。現行の促進試験では、P-GFRCに適用できない。

2. 実証試験による試料の延性は平均延性比率は7.2であった。(仕事による破壊と弾性エネルギーの比)破壊表面のSEMおよび偏光電子顕微鏡解析では延性機構が支配的であると判明した。

3. 5年を経過した試料をSEM写真分析にかけた所、水酸化Ca結晶の孤立が、空隙部位に見られた以外、何らの化学劣化もなかった。

4. もし、促進劣化技術を適用するのであれば、新規の問題解決法ないし解決法を改善する必要がある。これらの方法とは、多分ポリマーで被覆したAR-ガラスを用いてのポリマー添加剤使用となるはずである。

(3) タイル打ち込みGRCパネルの打ち込み方法

1. タイル仕上げは、意匠性とメンテナンスフリーから日本では、建物の外装に一般的に用いられる。

しかし、GRCにタイルを打ち込むことには、反りの発生や内部拘束によるクラック等の問題もある。GRCは、効果・乾燥収縮により寸法が変化し、タイルに動きが拘束される事に起因する。

2. ここでは、旭硝子社の設計方法を紹介する。

1) 安全性

異常時に対応する為、面板部にステンレスメッシュ等を配する。又、リブ4周には脱落防止鉄筋を入れる。

2) 許容応力度

		基準強度 F (kg/cm ²)	基準比例限界値 LOP (kg/cm ²)	許容応力度 (kg/cm ²)	
				長期	短期
圧縮強度	面外方向	750	750	250	375
	面内方向	600	600	200	300
曲げ強度		150	90	50	75
引張強度		80	50	25	40
剪断強度	面外	150	90	50	75
	面内	80	50	25	40
	層間	15	15	5	7.5

3) 耐久性

強度劣化について、スーパーサンクリートにおいても許容応力度を比例限界としているため「与えられた強度」を下回ることは無い。

4) 寸法安定性

(i) 熱膨張； $9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

拘束率が0.5以下となるファスナーとする。

(ii) 湿乾膨張係数； 300×10^{-6}

スーパーサンクリートにより、PC板並の値。

(iii) 乾燥収縮； 600×10^{-6}

初期の乾燥収縮は、自由収縮となる。

3. タイル打ち込み Box-Rib パネルの設計

方法

タイル打ちでは、更に下記の6点を制約条件として付加

1) タイル

材質と寸法は、GRCスキン内での拘束を起さぬよう限定。

2) 面板厚

十分な剛性を確保する厚み。

3) タイル打ちパネルは、蒸気養生終了後、裏面に防水処理を行う。

4) Rib厚は、面板厚以上とし、必要寸法以上。

5) 剛性上、Box-Ribで囲まれる面板が所定寸法以内で、正方形に近い形になるよう、Box-Ribを配する。

6) パネルの最大寸法を制限する。

4. タイル打ち込みSFパネルの設計方法

SFパネルにおいても1)～3)を付加する。

(4) GRCの試験

イギリス国内の2つのプロジェクトにおいて実施したGRCの材料試験の結果についての報告。1つは、駐車場の屋根まわりのパネルでエッジ、コーナーに損傷が認められており、他の1つは、高速道路構造物に用いた化粧型枠で、クラックが多数発生し、剥落したのもあった為、本試験を行った。

採取したGRCは、BS基準の方法に従い分析した。

その結果、2例とも基本物性はメーカーの予想通りであったが、LOP、MOR共予想値を下廻っていた。他のデータからも設計と製造の欠陥が判明した。

また化学分析の結果、現行の標準規格、その修正、あるいは試験手順の改正によりGRCパネルの成分を確定できる事が示された。

(5) GRCの性能研究

シンガポール国内の建設能力や気候条件を考慮にいれて、GRCを外壁パネルや化粧(永久)

型枠等へのGRCの適合性と限界を定量化する為、性能試験を行った。試験は2つから成り、第1は長期性能への影響物性（収縮、劣化、GRC～コンクリートの結合力）であり、第2は外観・メンテナンスへの影響因子（炭酸化、微生物の繁殖）に対する定性的試験を行った。セメントはOPCと高炉の2種とし促進試験を行った。

その結果（継続中に付き2.63年相当）、シンガポールでの屋内条件での長期収縮は 950×10^{-6} で屋外のそれは、屋内に比べ相当低かった。

強度は、相当劣化した。高炉セメントはOPCより良い値を示した。また、これまでGRCには、細菌の繁殖は一切見られない。

(6) 建築用GRC外壁の安全性

建築部材の外壁の安全性には、設計基準の妥当性、正しい建材の選択、設計、製造・加工時の品質保証、メンテナンスが関係する。スイスでは、PCや天然石による外壁の事故が相次いでいるため、ここでは安全性の問題を検討し、規制の設定を試みた。公害・耐用年数を含めた設計基準について検討を加えた結果、設計に次の様な変化が生じた。

1. 耐用年数を施主等が設定すべきである。
2. 設計段階で耐用年数の全体にわたる安全性をメンテナンスを含め考慮する。
3. 外壁に関する限り、軽量であり、ファス

ナーは過荷重時に大幅に変形できる事。

4. ファスナーは施工後点検できる事。
5. 製造・施工指針は現場での不測の事態やミス、仕上完了後の部材ファスナーにも適用すべきだ。
6. メンテナンスは重要で、システムチックに、かつ責任を明確にし、契約の際の仕様書にも入れる事。

(訳・注)

スイスではSFパネルを念頭においている。

(7) GRC外壁の設計と製造における技術革新と経済性

GRCをこれ迄利用できなかった応用面へ適用する事により、これ迄の制限を緩和する方法を示し、新設計基準、製造プロセスを対象とした。GRCの2大製法である、プレミックス鋳込法とダイレクトスプレー法について述べ、その利点から注意点まで述べている。

最後に、製造～設計について経済性を加味して、所見を述べている。

SESSION 4. 品質管理保証

(1) アメリカにおけるGFRC生産施設の品質管理と保証

工場認定の歴史

Prestressed Concrete Institute (PCI) 工場認定計画は、1967年に始まり、当時36の生産工場がメンバーであった。

目的はプレキャスト及びプレストレストコンクリートの品質に対して全国的に高い同一基準を設けることにあった。1970年代半ばの経済不況中に下降した以外はPCI認定工場数は一定割合で増加してきた。現在は全国44州に160の認定工場があり、その内GFRC工場5つが入っている。

図-1は米国内に分布している認定工場を点で図示している。尚GFRC工場は矢印で示されている。



図-1

国家的承認

現在、ほとんどの政府の建築計画においてPCI認定工場が必要である。

品質管理マニュアル

このマニュアルは、認定工場計画全体の基本である。

マニュアルMNL-116

(プレキャスト構造製品の生産・品質管理)

マニュアルMNL-117

(プレキャスト建築製品の指針)

GFRC

マニュアルMNL-130 (GFRC製品の品質管理と生産)、1991年末発行予定。

このマニュアルは、スプレーとスチールフレームを組み合わせたシステムで製造された建築用クラディングパネルを主に書かれている。

マニュアルの章は、品質管理概念、生産管理、

工場施設、原材料、生産、輸送と施工とから成っている。

工場施設検査

工場が、品質管理マニュアルを順守しているかどうか、1年に3回検査あり。

SESSION 5 (施工例)

(1) DSM Resgins BVの本社と研究所の複合建築

カーテンウォールとしてGRCが採用
設計上のポイント

荷重：長期、風

接続：温度変形は2mm/°C程度考慮

計算：有限要素の理論に基づく解析

(弾性理論に基づいて計算すると最大40%の誤差がある)

製造：プレミックス法

GRC表面サンドブラスト仕上げ

ポリマー使用

(2) 軽量GRCの性能

次ページに「軽量GRCの性能」と「他材料との比較」を表示する。

軽量GRCの性能（基本物性一覧）

特 性		数 値	
比 重	気 乾 比 重	1.3	
	絶 乾 比 重	1.1	
* 曲げ強度	比例限界 (LOP)	50~60	kgf/cm ²
	破壊強度 (MOR)	100~120	kgf/cm ²
圧 縮 強 度		200~300	kgf/cm ²
曲 げ ヤ ン グ 率		6~9	×10 ⁻⁴ kgf/cm ²
収 縮 率		0.05%	
熱 伝 導 率		0.22	kcal/m.h. °C
吸 水 率		30~34%	
含 水 率		15~17%	
塗 装 付 着 性		16~19	kgf/cm ²

供試体寸法：250×50×20mm

試験方法：中央集中越荷、支持スパン200mm

他材料との比較（特性比較）

種 類	軽量GRC	ALC	PCa
タイル打ち込み	○	×	○
意 匠 性 (テクスチャー)	○	×	△
単 位 重 量	100~120 kg/m ²	125 kg/m ²	200~300 kg/m ²
断 熱 性	○	○	△
耐 凍 害 性	◎	×	○
耐 火 性	◎	◎	○
施 工 性	○	◎	○
生 産 性	○	◎	○
コ ス ト	△	◎	○

(4) GRC外壁パネルを利用した3つの改修、復元プロジェクト

1. ファサード部の改修

過去の写真や記録を調査—デザイン決定

ゴム型は実際に残っている部分から製作

2. 石積工法の改修（砂岩や高級ブリック）

2回の地震で石積部が建物から剥離

耐震を検討したGRCパネルを採用

3. 花崗岩により改修

花崗岩では予算内に納まらない為サンドブラスト仕上げされたGRCパネルが採用された。

注) GRCの特長

軽量、造形性に優れている。

外装パネルにおいて、テクスチャー、表面の色などがあらゆる材料に合わせることが出来る。

(5) ダブリン大学工学部

採用ポイント

GRCを“芸術的な形”で使用することにより、建物がハイレベルのテクノロジーを体現し、新しい工学部にふさわしいと考えた。

工法：メタルスタット
仕上げ：花崗岩の粉が使用された。

採用した。
施工面積：6000㎡

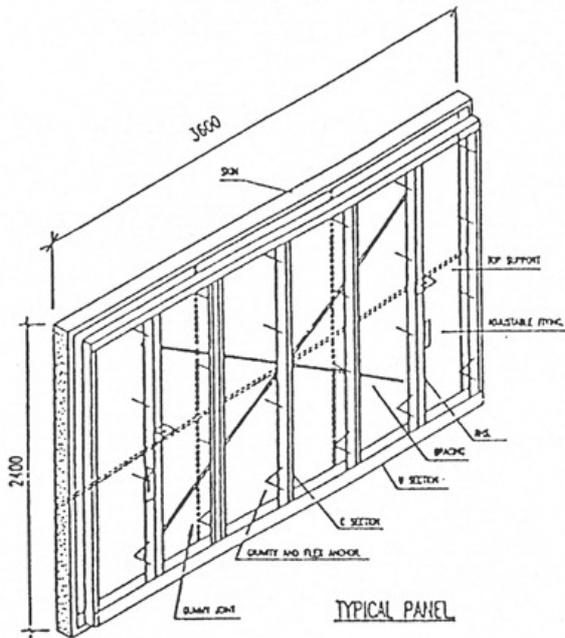


Fig. 7

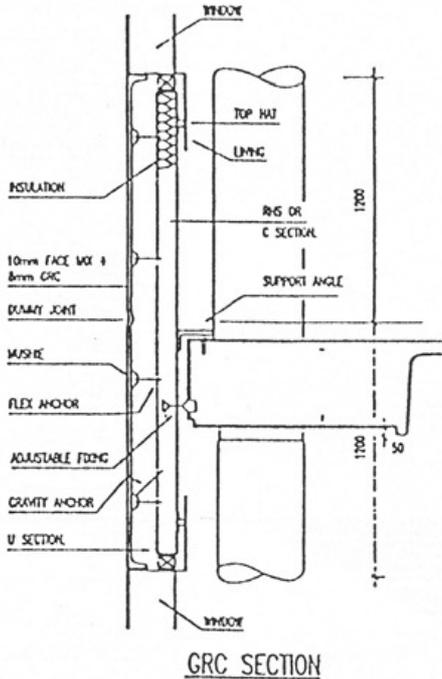
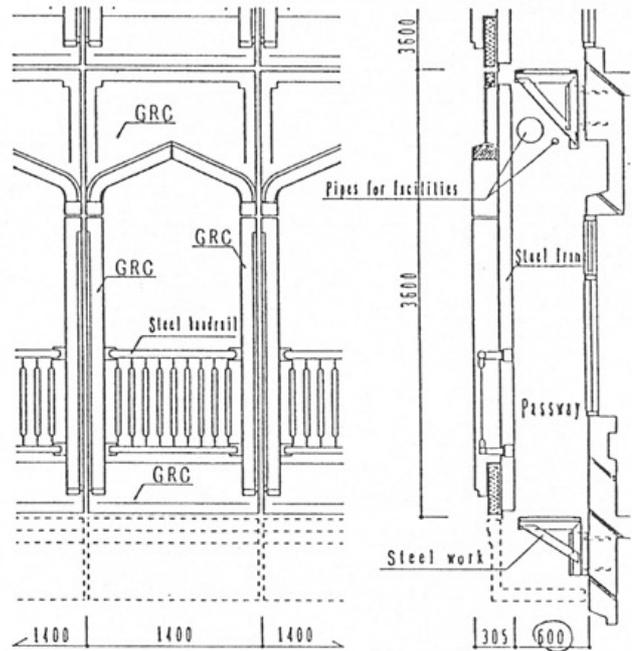


Fig. 8

(6) 千里中央ショッピングセンター改築工事
既存の外壁の外側に約60cmの空間を取り、ここにエアコン、スプリンクラーなどの設備を設置すると共にメンテナンスの為の通路とし、その外側に外装材としてGRCの壁を

(7) San Francisco Marriott ホテルのGFRC外装パネル

GFRC採用により鋼材の使用量が70～130ton節約できた。(軽量パネル化)
施工面積：31,620㎡、パネル2400枚
Loma Prieta 地震を経験(問題なし)



(次号につづく)