

連続繊維メッシュと短繊維混入吹付け コンクリートを併用した補修補強工法

— スマートショット工法 —

(独) 土木研究所 寒地土木研究所
耐寒材料チーム

社会的背景

コンクリート構造物の経年劣化等

塩害・凍害による変状

コンクリート片の剥落



構造物の耐力の低下

第三者への影響

既往の補修・補強工法

- ・連続繊維シート接着工法 → 接着面の下地処理
端部定着方法
- ・鋼板接着工法 → 防錆処理
- ・RC巻き立て工法 → 補強材料の重量大
- ・ポリマーセメントモルタルの吹付け工法 → 材料が非常に高価
材料成分が非公開

スマートショット工法とは

既設RC構造物の補修補強工法

連続繊維(アラミド)メッシュ
を配置した上から、
短繊維(ビニロン)混入モルタル・コンクリート
を吹付けて固定する工法



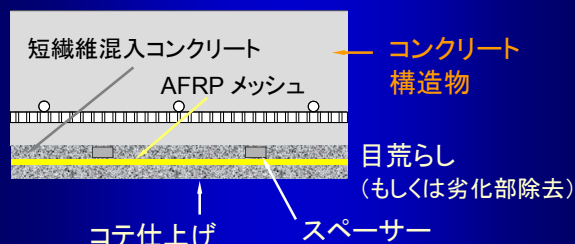
アラミド (AFRP) メッシュ



ビニロン (PVA) 短繊維

提案の補修補強工法

- 1) 目荒らし(もしくは劣化部除去)
- 2) AFRP メッシュの設置
- 3) 短繊維混入モルタル・コンクリートの吹付け



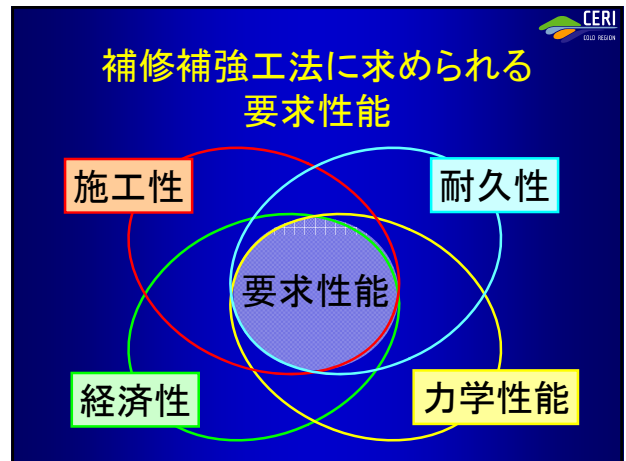
提案の補修補強工法の利点

- ・パテ等による施工面の平滑化が不要
→ 下地処理の簡略化による工期短縮
- ・高価な材料を使用しない
→ 工費縮減に寄与
- ・鋼材を一切使用しない
→ 防錆処理が不要
- ・表面被覆による保護が不要
→ 目視点検による維持管理が可能

CERI
COLD REGION

施工用途

- ・RC梁側面へ適用→ **せん断補強**
- ・RC梁下面への適用→ **曲げ補強**
- ・RC版下面への適用→ **押し抜きせん断補強**
- ・トンネル覆工への適用
→ **せん断・曲げ補強、剥落抑制**



CERI
COLD REGION

施工性

吹付けコンクリートの条件

- ・湿式吹付け (材料ロス率を低減)
- ・急結剤不使用 (コテ仕上げのため)
- ・汎用吹付けシステム使用 (のり面用)


剥落防止対策
↓
PVA短繊維: 混入率0.5~1.5%

・**施工性** (圧送・吐出性状、付着性能、はね返り率、短繊維残留率、吐出後の品質など) を確認


CERI
COLD REGION

施工性

室内吹付け試験



斜め下向き吹付け
(圧送・吐出性状の確認)



上向き吹付け
(付着性状の確認)

CERI
COLD REGION

施工性

配合決定までの経緯

C = 430kg/m³
W/C = 43%
s/a = 80%
短繊維混入率
0.5~1.5%

- × 脈動
- × 閉塞
- △ 跳ね返り
- × 耐凍害性

→

C+SF= 430kg/m³
SF: シリカフェーム
10% 内割置換

- 吐出性
- 跳ね返り
- 付着性
- ただし、
- × 耐凍害性

→

中空微小球
1.5% 外割混入
3.0% 外割混入

- 耐凍害性

最終配合

CERI
COLD REGION

施工性

吹付けコンクリートの配合 (例)

V _f (%)	V _s (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤 (C×%)
			W	C	SF	S	G	SP
0.5 ~1.5	3.0	43	185	387	43	1365	340	0.500 ~ 0.725

V_f: 短繊維混入率
 V_s: 微小球混入率
 SF: シリカフェーム, B = C + SF

耐久性: ①凍害

打設コンクリート

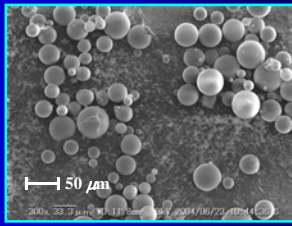
水分の凍結膨張による水圧を、AE剤による独立気泡が緩和することで耐凍害性を確保

吹付けコンクリート

吹付け圧力により、良質な気泡が消失するため、耐凍害性が低下

↓

消失しない気泡として薄い皮膜を有する中空微小球を混入



中空微小球の外観

耐久性: ①凍害

モルタル中の中空微小球

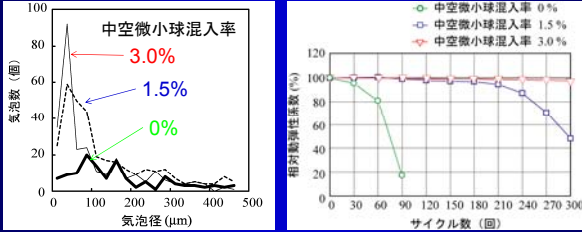
中空微小球の膜



細骨材

耐久性: ①凍害

水中凍結融解試験 (JIS A1148-A法) の結果



中空微小球混入率

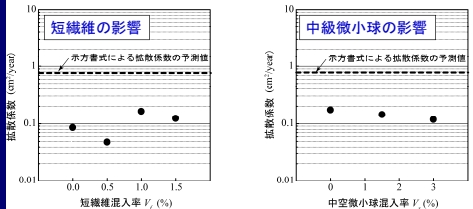
3.0%
1.5%
0%

中空微小球の混入率が大きいほど、10~50μmの気泡が増加

混入率3%により、十分な耐凍害性を確保

耐久性: ②塩害

塩化物イオン浸透試験 (ASTM C 457) の結果



短繊維の影響

中級微小球の影響

塩化物イオン浸透係数 (cm²/year)

短繊維混入率 V_f (%)

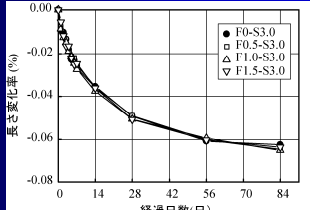
中空微小球混入率 V_f (%)

通常コンクリートと同等以上の性能を確保

- シリカフェームの混和によるマトリクスの緻密化
- 吹付け施工による締固め効果

耐久性: ③収縮特性

長さ変化試験 (JSCE-G571-2003) の結果



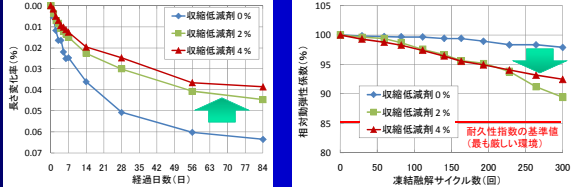
中空微小球3%混入で、PVA短繊維の混入率を0~1.5%として実験

短繊維の混入率によらず、収縮量は一定 (一般的なコンクリート程度)

なお、既設RC構造物に薄い断面で吹き付ける工法のため、収縮低減に関する検討も別途実施している。

耐久性: ③収縮特性

収縮低減剤の適用効果



収縮低減剤 0%
収縮低減剤 2%
収縮低減剤 4%

収縮低減率 (%)

経過日数 (日)

凍結融解サイクル数 (回)

収縮特性は改善するが、耐凍害性が低下 (ただし、コンクリート示方書の基準値 (85以上) は満足)

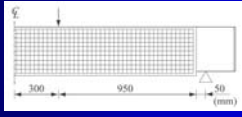
現場環境条件や、吹付け施工量に応じて使用を検討

力学性能:①せん断補強

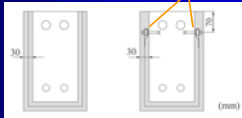


端部定着の影響

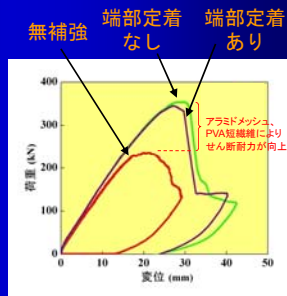
側面図



断面図



端部定着なし 端部定着あり

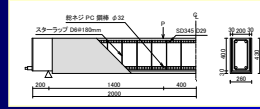


端部定着をしない場合でも、定着固定時と同様以上の性能

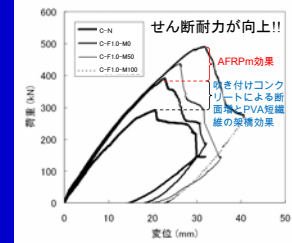
力学性能:①せん断補強



RC梁の静載荷実験



試験体名	断面寸法 幅×高さ (mm)	メッシュの 保証耐力 (kN/m)
C-N	200×400	—
C-F1.0-M0	260×430 (200×400)	0
C-F1.0-M50		50
C-F1.0-M100		100



せん断耐力の算定式を提案

AFRPMメッシュによる補強効果

$$V_{fd} = \alpha \cdot [A_f \cdot f_{fu} (\sin \theta f + \cos \theta f) / sf] \cdot z$$

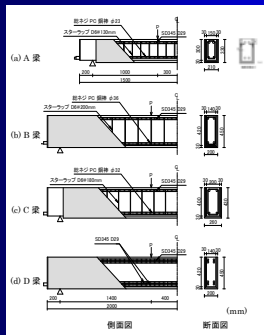
PVA短繊維による補強効果

$$VF = 2 \times b \times (z / \tan \theta) \times f_v$$

力学性能:①せん断補強



せん断耐力増分の定量評価

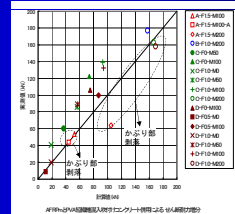


AFRPMメッシュによるせん断補強効果

$$V_{fd} = \alpha \cdot [A_f \cdot f_{fu} (\sin \theta f + \cos \theta f) / sf] \cdot z$$

PVA短繊維によるせん断補強効果

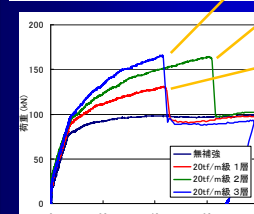
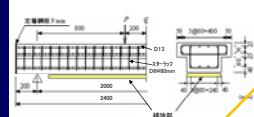
$$VF = 2 \times b \times (z / \tan \theta) \times f_v$$



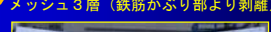
力学性能:②曲げ補強



RC梁の静的載荷実験



メッシュ3層 (鉄筋かぶり部より剥離)



メッシュ2層 (メッシュ破断)



メッシュ1層 (メッシュ破断)

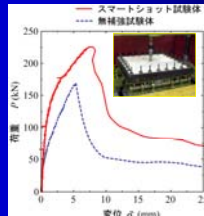
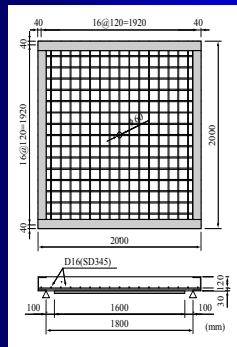
FRPシートの接着工法と同様に、My/Mu (鉄筋降伏/終局)により破壊モードが予測可能であることを確認

破壊モードがメッシュ破断の場合には、断面分割法に基づき、最大曲げ耐力が算定可能であることを確認

力学性能:③押抜きせん断



RC版の押抜き載荷実験



押抜きせん断耐力の向上を確認

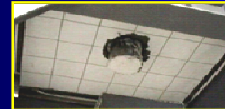
耐力増加分は、FRPシート接着工法での算定式を準用して推定可能

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d$$

力学性能:④剥落抑制



破壊状況(補修材の押し抜き試験)



普通吹付けモルタル



普通吹付けモルタル

+ AFRPメッシュ



短繊維混入吹付けモルタル

+ AFRPメッシュ

→ 高い剥落防止性能

経済性: 適用事例①橋梁



橋梁形式：RC単純T桁橋
 適用箇所：RC桁及び床版下面
 橋長：L=20.26m
 幅員：W=8.0m
 施工：昭和48年10月

平成4年：
 塩害・凍害の劣化補修として、
 表面被覆塗装を実施

再劣化：桁のひび割れ、
 かぶり剥離、錆汁etc..

平成16年：
 塩害劣化部補修、せん断補強
 としてスマートショット工法を適用

経済性: 適用事例①橋梁



ウォータージェット工法 1次吹付け メッシュ取り付け

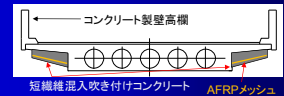
2次吹付け 主桁部コテ仕上げ 施工完了

※ 付着性状が良好なため、交通解放(振動)下での施工が可能

経済性: 適用事例②橋梁



橋梁形式：RC中空床版橋
 適用箇所：床版張り出し部下面

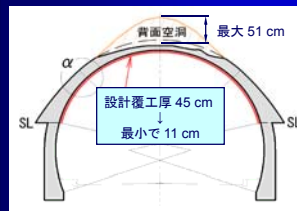


高欄形式変更による死荷重の増加に伴い、床版張り出し部において増厚補強(最大60cm)が必要となる。

現道上での作業が生じない工法としてスマートショット工法を採用



経済性: 適用事例③トンネル



竣工：昭和54年
 施工方法：矢板工法
 トンネル長：160m

覆工背面の空洞(最大51cm)、
 及び覆工厚さ不足(設計の1/3程
 度の箇所)を確認



裏込注入圧力に対する内面補強、並びにコンクリート片の剥落抑制対策としてスマートショット工法を試験施工

経済性



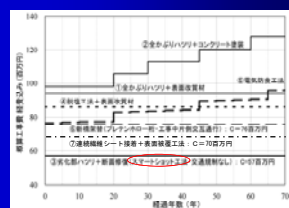
適用事例①の場合：
 橋梁 (塩害対策、せん断補強)

コスト (1 m² 当たり)
 従来工法¹⁾ : 43 千円
 新工法 : 35 千円
 8 千円減 (18% 減)

工期 (1 工事当たり)
 従来工法¹⁾ : 70 日
 新工法 : 61 日
 9 日減 (13% 減)

¹⁾ 従来工法は、無取縮モルタルによる断面修復 + アラミド繊維シート接着 + 表面被覆

ライフサイクルコスト



経済性



適用事例②の場合：
 橋梁

コスト (1 m 当たり)
 従来工法²⁾ : 84 千円
 新工法 : 72 千円
 12 千円減 (14% 減)

工期 (1 工事当たり)
 従来工法²⁾ : 一日(交通規制56日)
 新工法 : 一日(交通規制なし)
 一日

²⁾ 従来工法は、高流動コンクリート打設(逆打ち)

適用事例③の場合：
 トンネル

コスト (1 m² 当たり)
 従来工法³⁾ : 37.5 千円
 新工法 : 35 千円
 2.5 千円減 (7% 減)

工期 (1 区当たり)
 従来工法³⁾ : 24 日
 新工法 : 17 日
 7 日減(29% 減)

³⁾ 従来工法は、PC鋼線+ポリマーセメント増厚工法

まとめ①

- 積雪寒冷地の過酷な環境下でも十分な耐久性・力学特性を有する既設RC構造物の補修・補強工法として、**スマートショット工法**を開発した。

施工性 実験により選定した配合により、汎用吹付け機械にて良好な施工性を確保

耐久性 耐凍害性、耐塩害性が高いことを確認
乾燥収縮への配慮が必要
(収縮低減剤の使用によって改善可能)

力学性能 曲げ耐力、せん断耐力、押抜きせん断耐力の向上を確認し、耐力算定方法を提案
優れた剥落抑制効果を確認

まとめ②

経済性 本工法を試験施工し、その経済性を確認
(工法比較段階)

今後の課題

- 新たな技術のため、積極的な利活用へ向けた普及活動を実施していきたい。