

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

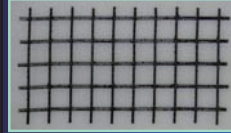
— スマートショット工法 —

(独) 土木研究所 寒地土木研究所
耐寒材料チーム

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

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



構造物の耐力の低下

コンクリート片の剥落



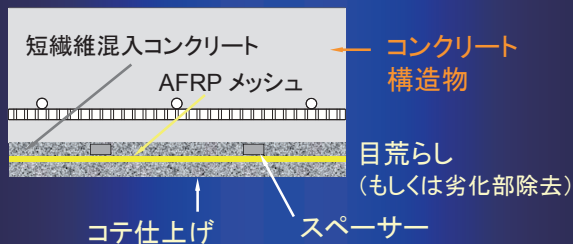
第三者への影響

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

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



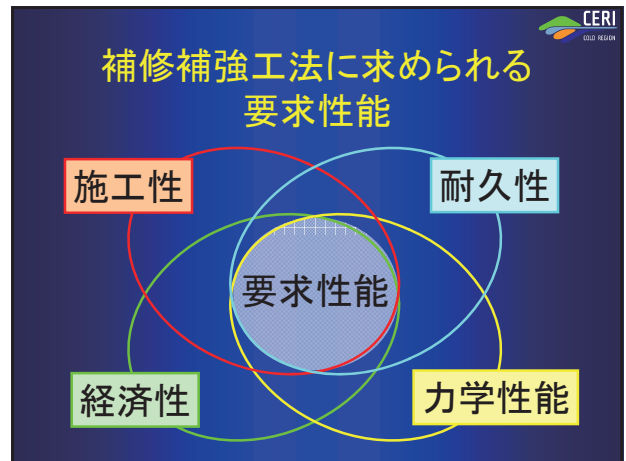
提案の補修補強工法の利点

- ・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: シリカフェューム
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: シリカフェューム, B = C + SF

耐久性: ①凍害

打設コンクリート

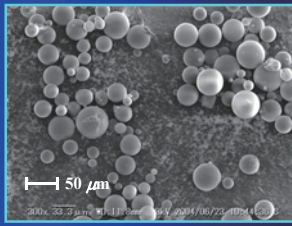
水分の凍結膨張による水圧を、AE剤による独立気泡が緩和することで耐凍害性を確保

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

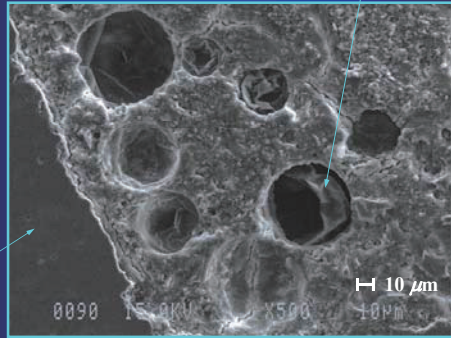


中空微小球の外観

耐久性: ①凍害

モルタル中の中空微小球

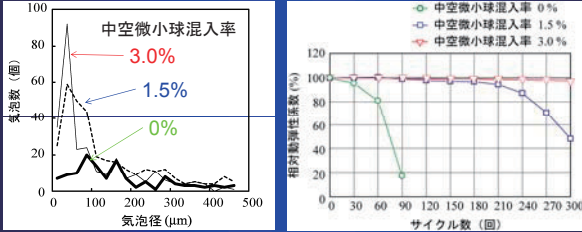
中空微小球の膜



細骨材

耐久性: ①凍害

水中凍結融解試験 (JIS A1148-A法) の結果

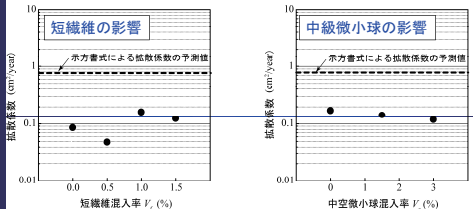


中空微小球の混入率が大きいほど、10~50μmの気泡が増加

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

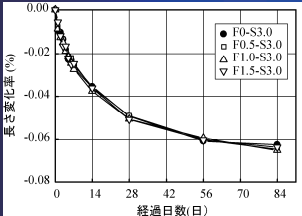


短繊維や中空微小球の混入率による影響は見られない。通常のコンクリートと同等以上の性能を確保

- 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



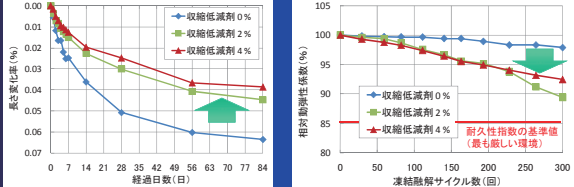
中空微小球3%混入で、PVA短繊維の混入率を0~1.5%として実験

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

フラットバー

端部定着なし 端部定着あり

無補強 端部定着なし 端部定着あり

アラモドメッシュ、PVA短繊維によりせん断耐力が向上

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

せん断耐力が向上!!

AFRPメッシュ効果

吹き付けコンクリートによる断面率とPVA短繊維の発現効果

せん断耐力の算定式を提案

AFRPメッシュによる補強効果

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

PVA短繊維による補強効果

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

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	0
C-F1.0-M50	200×400	50
C-F1.0-M100	200×400	100

力学性能: ①せん断補強

せん断耐力増分の定量評価

AFRPメッシュによるせん断補強効果

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

PVA短繊維によるせん断補強効果

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

提案式にて補強効果を推定可能

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、 M_y/M_u (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

スマートショット試験体

無補強試験体

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



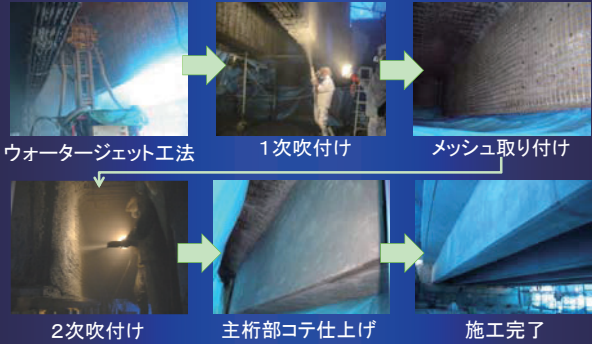
橋梁形式：RC単純T桁橋
 適用箇所：RC桁及び床版下面
 橋長：L=20.26m
 幅員：W=8.0m
 施工：昭和48年10月

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



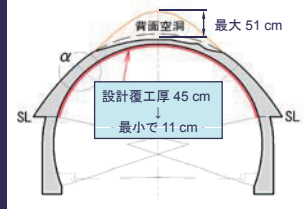
短繊維混入吹き付けコンクリート AFRPメッシュ

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。

現場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

Before After

経済性: 適用事例③トンネル




貫通空洞 最大 51 cm
 設計覆工厚 45 cm
 最小で 11 cm

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



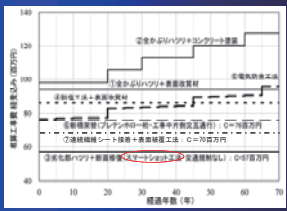
経済性

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)

ライフサイクルコスト



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

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

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)

²⁾ 従来工法は、高流動コンクリート打設(逆打ち)
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。