

# 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 -

(NETIS HK-030036)

(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

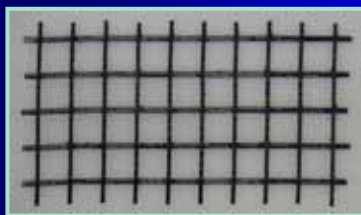
既設RC構造物の補修補強工法

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

## スマートショット工法の特徴

連続繊維メッシュ、短繊維の効果によって

- せん断耐力、耐衝撃性、靱性能の向上効果
- 剥落防止効果

吹き付け施工であるため、

- 工期が短縮(型枠設置、表面塗装が不要)
- コテ仕上げが可能であり美観が向上  
(急結材未使用)

また、高い耐久性(耐凍害、耐塩害)も有する。

## 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



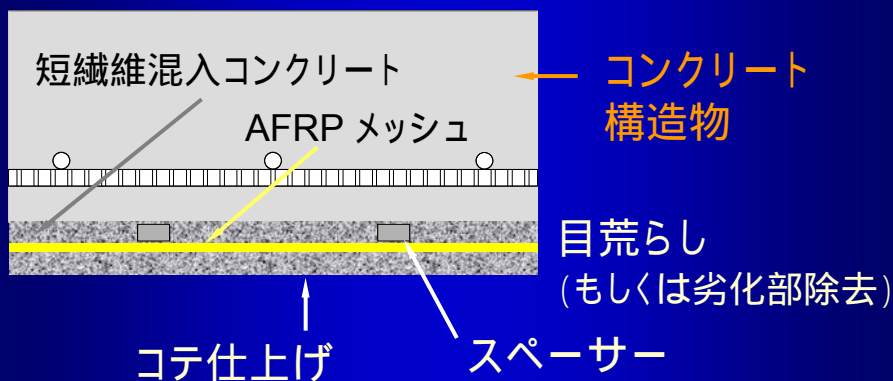
第三者への影響

## 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



## 施工工程の比較

(断面修復を伴う場合)

### シート接着工法



### スマートショット工法(提案工法)



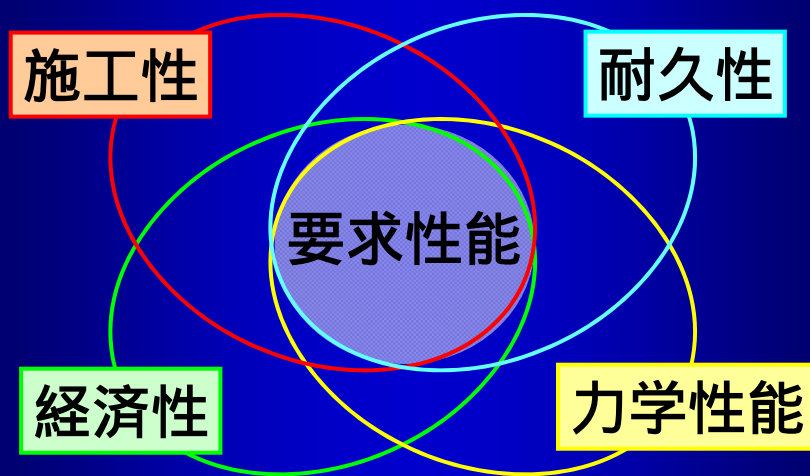
## 提案の補修補強工法の利点

- ・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
- ・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

## 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

## 補修補強工法に求められる 要求性能



## 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

## 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)

施工性



配合決定までの経緯

C = 430kg/m<sup>3</sup>  
 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/m<sup>3</sup>  
 SF: シリカフューム  
 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**

施工性



吹付けコンクリートの配合 (例)

V <sub>f</sub> (%)	V <sub>s</sub> (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					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<sub>f</sub>: 短繊維混入率  
 V<sub>s</sub>: 微小球混入率  
 SF: シリカフューム, B = C + SF

耐久性： 凍害

打設コンクリート

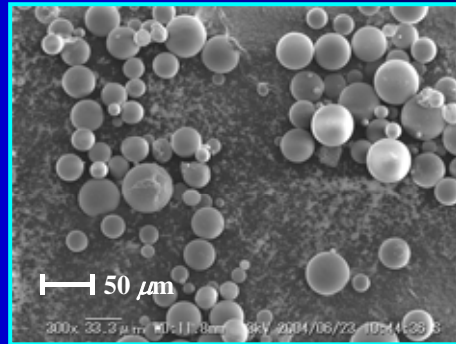
水分の凍結膨張による水圧を、AE剤による独立気泡が緩和することで耐凍害性を確保

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

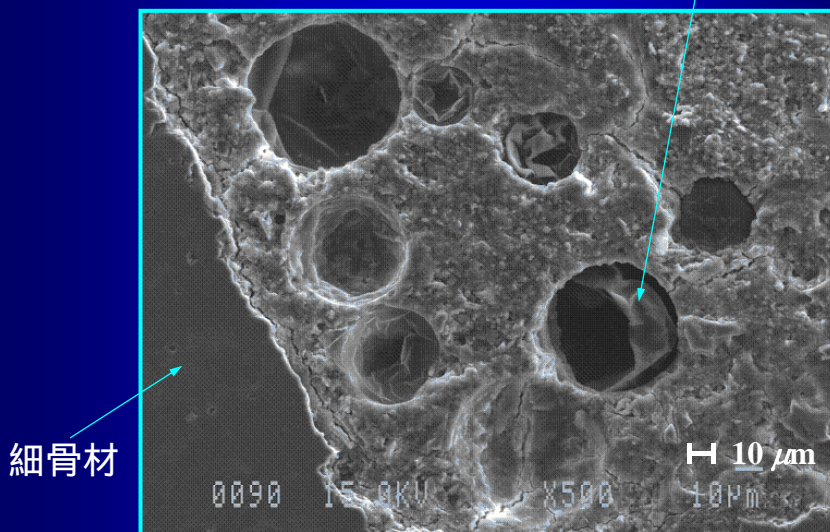


中空微小球の外観

耐久性： 凍害

モルタル中の中空微小球

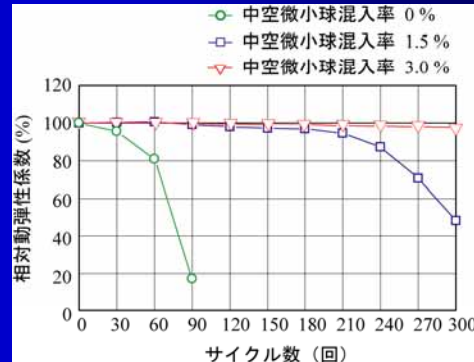
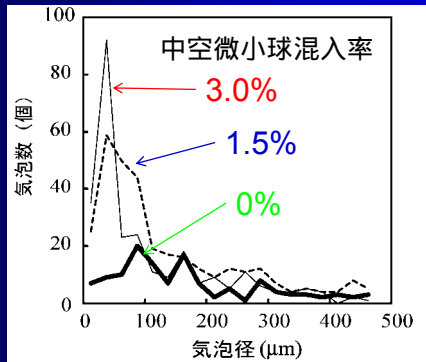
中空微小球の膜





## 耐久性： 凍害

### 水中凍結融解試験 (JIS A1148-A法) の結果



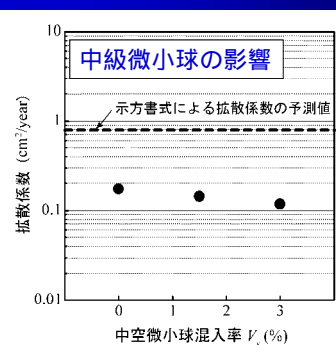
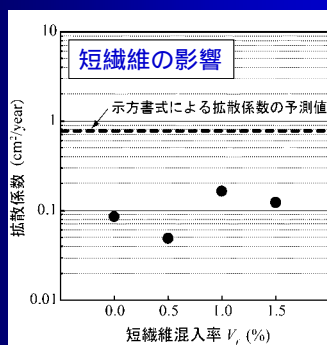
中空微小球の混入率が大きいほど、10 ~ 50 $\mu\text{m}$ の気泡が増加



混入率3%により、十分な耐凍害性を確保

## 耐久性： 塩害

### 塩化物イオン浸透試験 (ASTM C 457) の結果



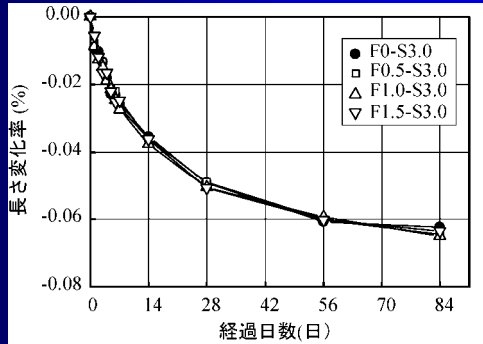
短繊維や中空微小球の混入率による影響は見られない。通常のコンクリートと同等以上の性能を確保



- ・シリカフュ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：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



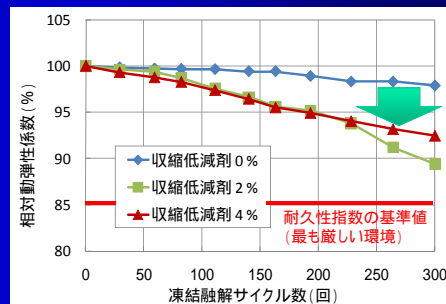
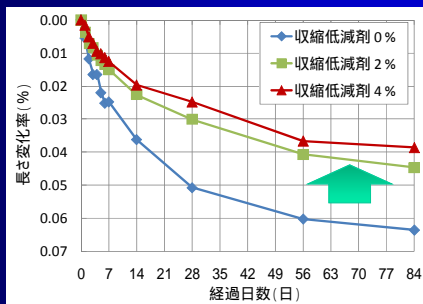
短繊維の混入率によらず、  
収縮量は一定

(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：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)

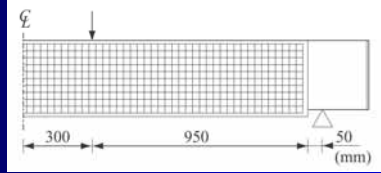


現場環境条件や、吹付け施工量に応じて使用を検討

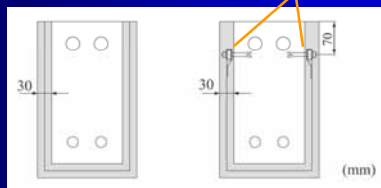
## 力学性能： せん断補強

### 端部定着の影響

側面図



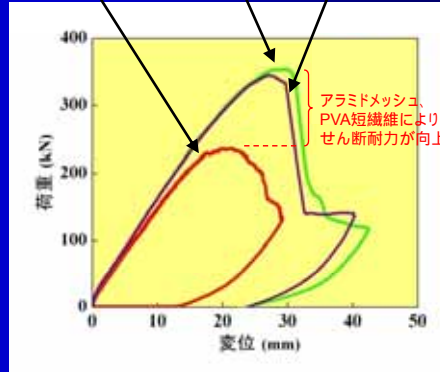
断面図



端部定着なし

端部定着あり

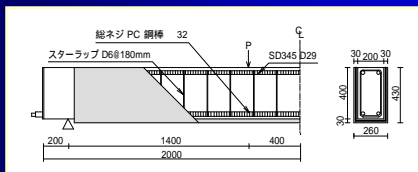
無補強 端部定着なし 端部定着あり



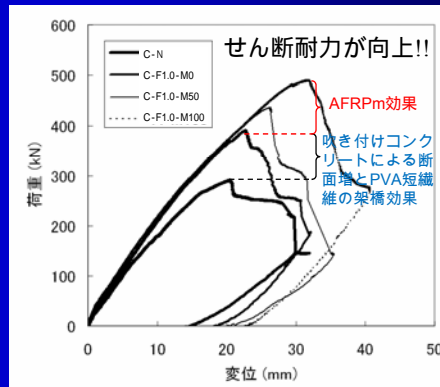
端部定着をしない場合でも、定着固定時と同様以上の性能

## 力学性能： 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

AFRPメッシュによる補強効果

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

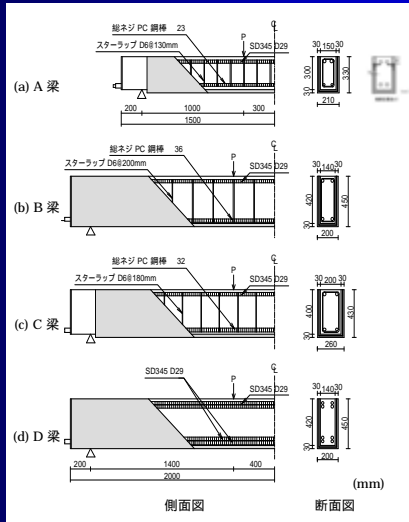
PVA短繊維による補強効果

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

# 力学性能： せん断補強



## せん断耐力増分の定量評価

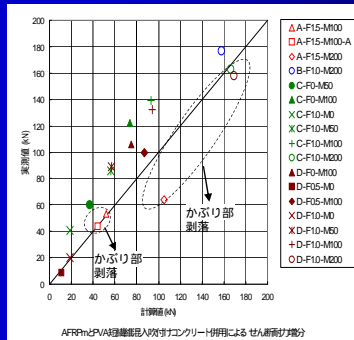


AFRPメッシュによるせん断補強効果

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

PVA短繊維によるせん断補強効果

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

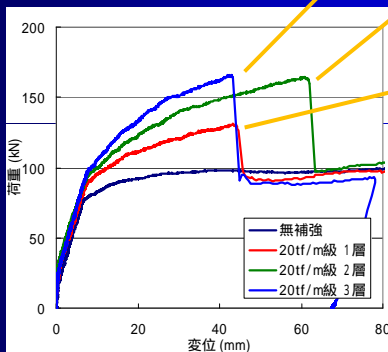
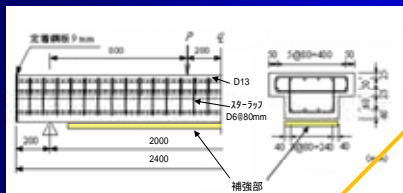


提案式にて補強効果を推定可能

# 力学性能： 曲げ補強



## RC梁の静的荷重実験



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）



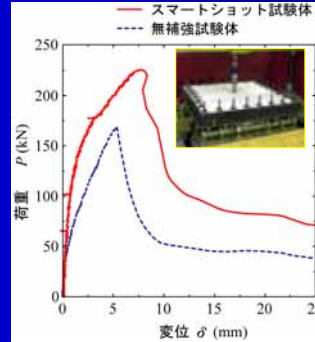
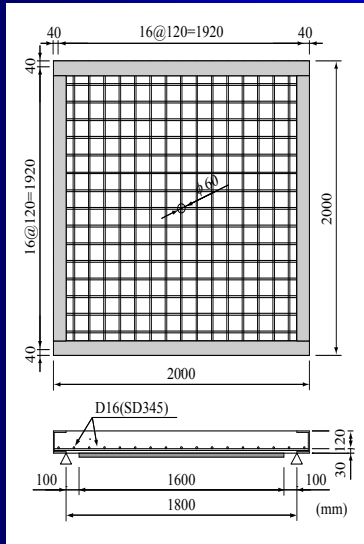
メッシュ1層（メッシュ破断）

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： 押抜きせん断

### RC 版の押抜き载荷実験



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

$$V_{pcd} = \alpha \cdot \rho \cdot r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d$$

## 力学性能： 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 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 橋梁



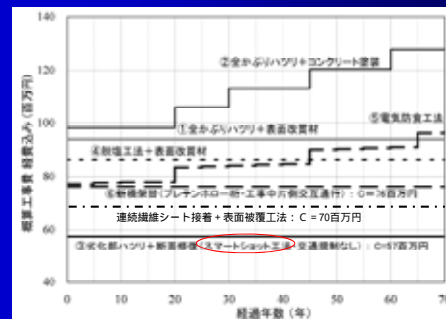
適用事例 の場合：  
 橋梁（塩害対策、せん断補強）

コスト (1 m<sup>2</sup> 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、無収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 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

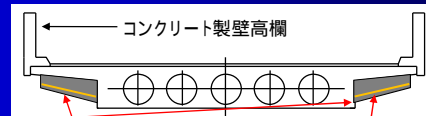
## 経済性:適用事例 橋梁



Before

After

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 橋梁



適用事例 の場合：  
橋梁

### コスト (1 m 当たり)

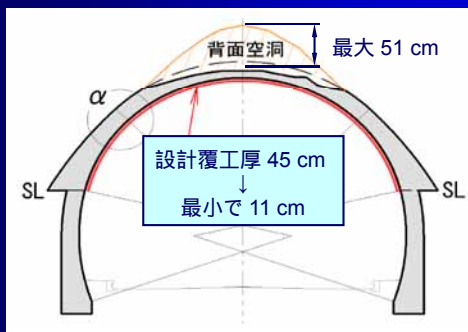
従来工法\*2 : 84 千円  
新工法 : 72 千円  
12 千円減 (14 % 減)

### 工期 (1 工事当たり)

従来工法\*2 : - 日(交通規制56日)  
新工法 : - 日(交通規制なし)  
- 日

\*2 従来工法は、高流動コンクリート打設（逆打ち）

## 経済性:適用事例 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 トンネル



適用事例 の場合：  
トンネル

### コスト (1 m<sup>2</sup> 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工区当たり)

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



- 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。(NETIS HK-030036)

### 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



## 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)

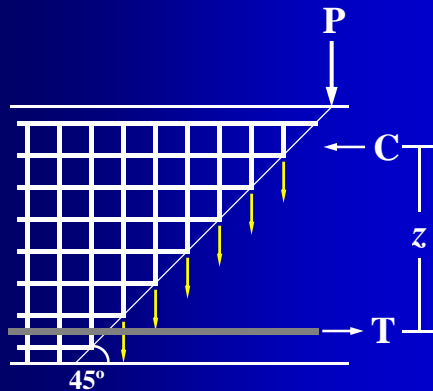
## 今後の課題

- 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。

本工法の「設計・施工マニュアル」については  
H23.3頃にホームページに掲載予定

## AFRP メッシュによるせん断耐力増分の評価

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



$\alpha$  : せん断補強に対する  
AFRP メッシュの補強効率  
( $\alpha = 0.6$ )

$s_f$  : メッシュの配置間隔,

$A_f$  : 区間  $s_f$  におけるメッシュ  
の総断面積

$f_{fu}$  : AFRP メッシュの設計引張強度

$\theta_f$  : せん断補強材が部材軸  
となす角度

$z = d / 1.15$

## PVA短繊維によるせん断耐力増分の評価

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

$f_v$  : PVA短繊維の残存引張強度

$b$  : 短繊維混入吹付けコンクリート厚

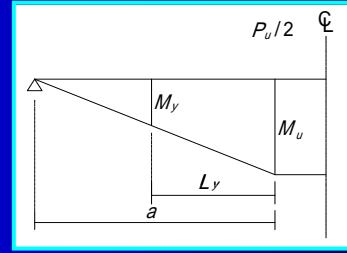
$z$  : モーメントアーム長(=  $d / 1.15$ ),  $d$  : 有効高さ

$\theta$  : ひび割れ角度,  $45^\circ$  と仮定

# 提案工法により曲げ補強した RC 梁の破壊形式の予測

シート補強の場合におけるはく離予測式の本補強法への適用性  
 $L_{yu}$  (等せん断力区間の主鉄筋降伏領域)  
 による破壊形式推定法

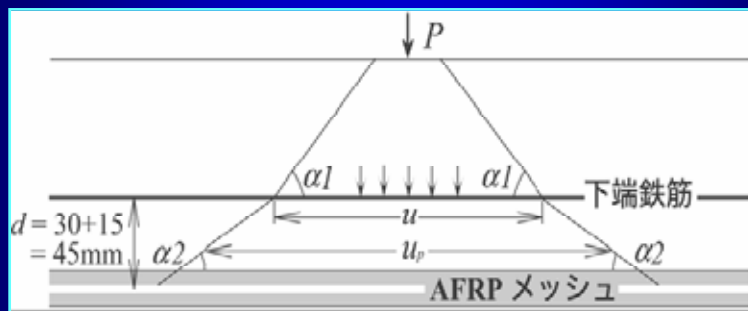
- $L_{yu} / a > 0.35$  剥離破壊型
  - $L_{yu} / a < 0.30$  曲げ圧壊型
- $L_{yu} / a = 1 - M_y / M_u$   
 $M_y$ : 降伏曲げモーメント  
 $M_u$ : 終局曲げモーメント
- $M_y / M_u < 0.65$  剥離破壊型
  - $M_y / M_u > 0.70$  曲げ圧壊型



作用曲げモーメント図

と予測可能

# 提案工法における 押抜きせん断補強効果の評価



FRPs下面補強RC版のかぶりコンクリート部の耐力寄与分の算定式を準用して

$$V_{pcd} = d \cdot p \cdot r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d$$

$f_{cd} = \sqrt[3]{1/d}$      $p = \sqrt[3]{100p}$      $\beta r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d)$      $f_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}}$   
 $f'_{cd}$ : コンクリートの圧縮強度,  $u$ : 載荷面の周長,  $u_p$ : 設計断面の周長,  $d$ : 鉄筋からAFRPMまでの距  
 $p (=nf \cdot Af / (b \cdot d))$ : 補強筋比,  $Af$ : AFRPMの断面積,  $nf (=E_f / E_s)$ : 弾性係数比 (AFRPM/鉄筋)