

[1188] 鋼纖維補強吹付けコンクリートのリバウンド性状とその低減効果に関する実験的研究

蘇 玄昌<sup>\*1</sup> · 孫 永現<sup>\*2</sup> · 沈 玉鎮<sup>\*3</sup>

### 1.はじめに

トンネル内で吹付けコンクリート工法を改良する1つの工法として、従来のWire Meshで補強するShotcrete(以下W/MRSと稱す。)工法と比較して、鋼纖維補強Shotcrete(以下SFRSと稱す。)はその簡易な作業性、優れた補強効果、又は経済的な理由によって、新しいShotcrete工法として脚光を浴びている<sup>1),2)</sup>。

しかし、SFRSにおいても、乾式工法を利用して打設するため、粉塵による作業環境の悪化や過多なリバウンドによる品質変動等の問題點によって、全般的な効果が減少すると言われているが<sup>3)</sup>、SFRSの補強効果に大きな影響を及ぼす要因の中で、もっとも重要なリバウンド率に関する研究はごくわずかなものである。

本研究はSFRSの性能向上を図ることを目的として、現場実験を実施し、鋼纖維やシリカフュームの混入率による物性の把握やトンネル内部の打設部位(壁体部、傾斜部、天井部)によるリバウンド率の変化を測定して、その低減効果を検討し、SFRSのリバウンド性状を4段階に分けて分析した。

### 2. 実験概要

#### 2-1. 使用材料及び打設條件

打設実験はH社が施工中である、地下約25m位置の地下鉄工事現場で実施した。今回の実験で使用した材料や配合表は各表1、表2に、吹付け方法の概念図を図1に示す。また、Wire Meshは通常のトンネル現場で常用しているΦ4.8mm × 100mm × 100mmを1段で設置した。

表 1. The materials used in the test.

Cement	韓國産 普通portland cement (H社製品:比重 3.12)
細骨材	比重:2.6; 粗粒率:2.75; 河川砂
粗骨材	最大寸法:13mm 比重:2.62; 粗粒率:7.58; 碎石
鋼纖維	ASTM A 820-Type I, Round Hooked-end & Bundled fibers. L=30, D=0.5mm, 引張強度: 1,100MPa
SF	比重:2.2, 粉末度:20,000m <sup>2</sup> /kg
急結剤	Powder Type, 主成分:Sodium Aluminate

\* SF : シリカフューム。

表 2. The mixing condition of SFRS.

G <sub>max</sub> (mm)	13
S/a (%)	60
W/(C+SF) (%)	42
C (kg/m <sup>3</sup> )	400
S/F	0.0(Wire Mesh Reinforced)
Contents (%)	0.0, 0.5, 0.75, 1.0
SF/C (%)	0.0, 10.0
Adm. /C (%)	5.0

\* S/F : Steel Fiber, Adm. : 急結剤。

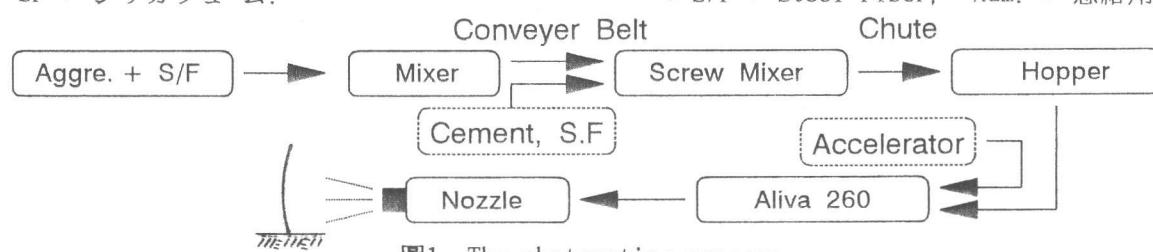


図1. The shotcreting process.

\*1 現代建設(株) 技術研究所, 工博(正会員)

\*2 現代建設(株) 技術研究所, 研究員

\*3 現代建設(株) 技術研究所, 所長

## 2-2. 実験方法及び測定

本実験ではSFRS打設時のリバウンド率の変化の測定は70cm x 140cmの木材panelを用いた。すなわち、岩盤を假定した厚さ7cmの母材コンクリート( $\sigma_{ck} = 350\text{kg/cm}^2$ )を製作した後、その表層部にShotcreteを約10cm打設する方法とした。

今回の実験では、特に、トンネルの各部位の差を比較するために、壁體部、傾斜部、天井部の3種類に分け(図2参照)、打設を行った。測定した装置はAliva260Typeを用い、打設距離は1.0~1.3m、圧力は2.3kg/cm<sup>2</sup>とした。なお、実験遂行時、壁體部Panelは壁面に立てながら固定させて打設を行った。また、傾斜部や天井部は床面から高さ約2.3m、2.6mの位置に各々固定させて、打設を行った。リバウンド率の測定は、種類とも床に先め5m x 5mのSheetを用いて、模型PanelにShotcreteを打設した後、回計量することとした。

また、圧縮強度の測定は、JCI-SF3規準に準じて、Shotcrete面に對して $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のCoreを採取して行った。なお、本実験の状況を寫真1に示す。

## 3. 実験結果と分析

### 3-1. 圧縮強度測定結果

本実験で測定したcore供試体の圧縮強度を図3に示す。

図3に示すように、シリカフュームの混入率が0%の場合、鋼纖維混入率が0.5%, 0.75%の時は、韓國の鐵道示方書の最小基準(100kg/cm<sup>2</sup>)と比べて、若干小さい値を示しているが、全般的には、基準値をはるかに満足する結果を示している。

また、鋼纖維の混入が圧縮強度に及ぼす効果は認められないが、シリカフュームを混入する場合は、普通コンクリートと同様に强度増進に大きな影響を及ぼしていることが分かる。

今回の実験では一定のシリカフューム混入率に対する强度増進は鋼纖維混入率を0.5%にした時が、一番大きかった。

### 3-2. リバウンド率の変化

鋼纖維混入率、シリカフューム混入率、Shotcr-

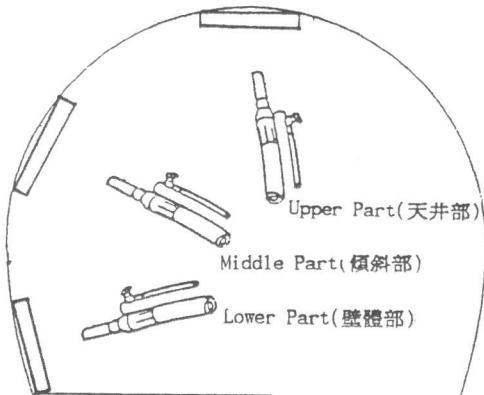


図2. The selected parts in the test.



写真1. The general view of shotcreting.

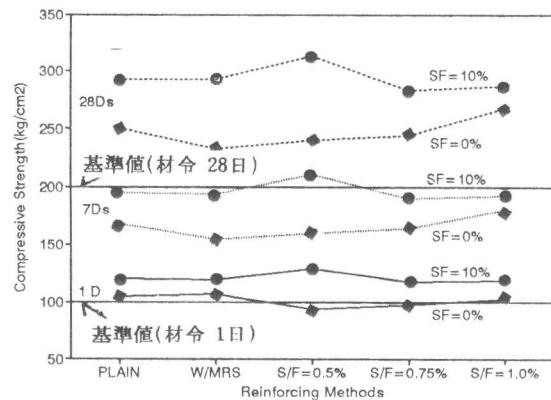


図3. The result of compression test.

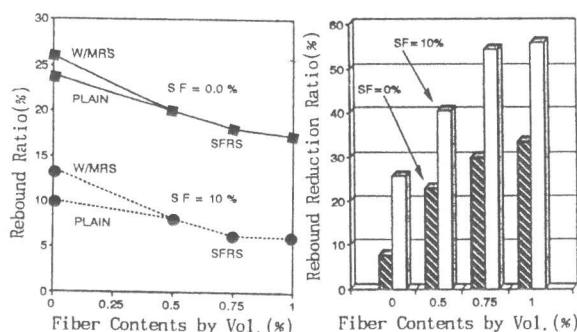


図4. The rebound variations for fiber and silica fume contents. (Lower Part)

ete打設部位によるリバウンド率の変化を各各圖4, 圖5に示す。

圖4に示すように、鋼纖維混入率を0.5%, 0.75%, 1.0%と増加させると、シリカフュームを混入しない場合、SF/SRSのリバウンド率はW/MRSより各各23%, 30%, 33.5%減少する傾向を示している。これに対し、シリカフュームを10%混入した場合、W/MRSより各各40.4%, 54.4%, 55.9%低減する効果を示している。

また、圖5に示すように、測定部位によるリバウンド率の変化は、シリカフュームを用いないSF/SRSの場合、W/MRSと比較して測定部位が壁體部、傾斜部、天井部順に、リバウンド率が30.7%, 7.6%, 9.2%各各減少する傾向である。また、鋼纖維混入率が0.75%，シリカフューム混入率が10%の場合はW/MRSと比べて、壁體部、傾斜部、天井部順に76.2%, 42.7%, 38.0%まで激減する傾向を示している。

また、鋼纖維とシリカフュームを同時に混入したSF/SRSの場合は、傾斜部や天井部のリバウンド率21.2%, 29.8%を圖4の壁體部に対するシリカフュームを混入していないW/MRSの結果と比較した場合、壁體部に対するW/MRSリバウンド率より傾斜部のほうが小さいリバウンド率を、天井部の場合は若干大きいリバウンド率を示している。

以上の結果から、シリカフュームを混入したSF/SRSが從来のShotcreteよりリバウンドを減少させる効果は大きく、特に、傾斜部や天井部をShotcreteする場合、リバウンド率減少に大きな効果を示し、今までの材料損失による品質低下や餘分の材料投入による経済性低下を防止することが可能であると判断される。一方、鋼纖維混入率が1%程度になると、混入効果が鈍化する状況から判断して、混入率にもある程度の限界點が存在するものと推測される。

### 3-3. SF/SRSのリバウンド性状

今回測定した実験結果よりSF/SRSのリバウンド性状は、圖6に示すように、連續的な4段階の傾向にあると判断される。

第1段階は、十分な厚さのPaste層が形成される前まで、壁面との衝突によって、ごく微量の鋼纖維がうすいPaste層に残るだけで、粗骨材は完全にリバウンドする段階で、Paste層の厚さが約( $G_{ma} \times 2 \sim L/2$ )になるまでこの状態は持続すると判断される。

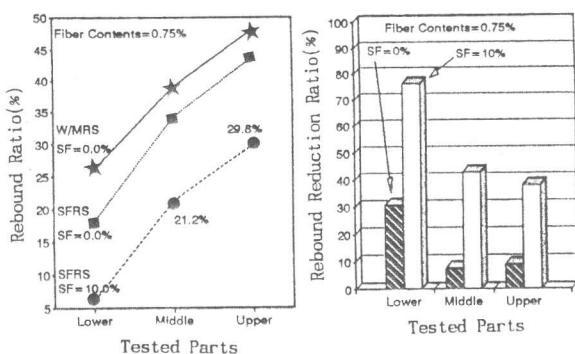


圖5. The rebound variations for tested parts and S/F contents (S/F content = 0.75%).

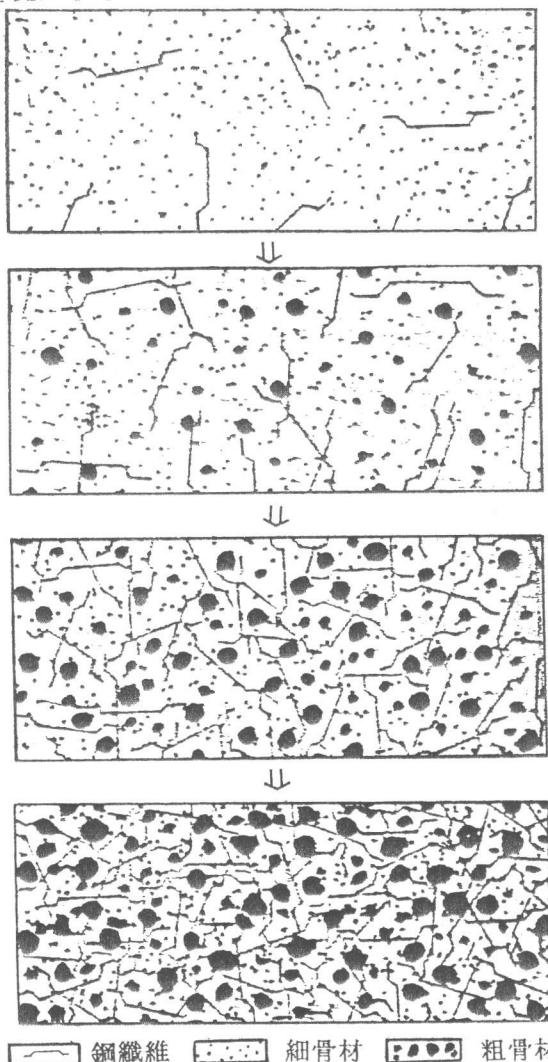


圖6. The continuous flow of rebound in SF/SRS.

以後、本格的にSFRS層が形成し始まる第2段階になる。この段階では、鋼纖維や粗骨材とpasteとの付着力が大きくなり、粗骨材は鋼纖維の均等な分散を誘導する。しかし、Shotcrete層に含まれた骨材は鋼纖維間の相互反撥作用をもたらすような充分な體積までは至っていないことで、結局、全體的なリバウンド率は大きく減少すると推定される。

第3段階では、粗骨材のリバウンドは減少するが、鋼纖維のリバウンドは増加し始まる段階になり、骨材によって均等に分散された鋼纖維が不特定な形状の網状構造を形成した後、累積された網状構造の最小間隔が粗骨材最大寸法より小さくなるまで骨材のリバウンド減少傾向は繼續される。一方、一定な混入率における、鋼纖維は、打設量が漸次増加すればするほどリバウンド率の減少する粗骨材による鋼纖維間の相互弾力による反発作用が増加され、リバウンド率が増加する。鋼纖維混入率が上述した纖維混入効果の限界値と推測される1%程度になると、リバウンド低減効果が鈍化する傾向も、このような弾力効果によるものと判断される。

最終段階では、前述した段階に至る間に、Paste、鋼纖維、粗骨材によってShotcrete層の密度がある程度維持されるため、その後、Shotcreteされる材料のリバウンド率は増加する傾向を示すと推測される。

#### 4. まとめ

SFRSのリバウンド率に関する今回の実験結果を以下に示す。

- シリカフュームを混入したSFRSはW/MRSと比べてリバウンド量を大きく減らすことが可能な效果的な工法である。
  - 傾斜部や天井部のリバウンド率は、SFRSで打設すれば、W/MRSと比較して、シリカフュームの混入率が0%場合、10%弱、10%の場合、40%弱まで減少できる。
  - リバウンド低減に対する鋼纖維混入効果は混入率1%程度で限界値に到達すると推測される。
  - SFRSのリバウンド性状を鋼纖維や粗骨材に対するリバウンド量の変動状況を中心として4段階に分類するのが適當と判断される。

## 5. あとがき

以上の結果より、SFRSのリバウンド率の変化を述べたが、実験の数が少ないため定量的な考察までは至っていない。今後、実験を重ねて、定量化する豫定であることを付記します。

## 6. 參考文獻

- 1) M. Vandewalle:Tunnelling the World with 7 Ref. Projects, N.V. BEKAERT S.A., 1990.
  - 2) Norwegian Concrete Association-Committee Sprayed Concrete:Sprayed Concrete for Rock Support-Technical Spec. and Guidelines, NCA Publication nr. 7, 1993.
  - 3) 中村敏夫, 横澤和夫:トンネルの吹付けコンクリート, コンクリート工學, Vol. 31, No. 3, pp. 56-60, 1993.
  - 4) 蘇玄昌, 孫永現, 沈玉鎮:鋼纖維補強コンクリートの曲げ疲労挙動に関する実験的研究, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 959-962, 1993.
  - 5) D. J. Hannant:Fibre Cements and Fibre Concretes:JOHN WILEY & SONS, 1978.
  - 6) 日本建築學會:スチールファイバーコンクリート技術の現況, 1984.
  - 7) 日本コンクリート工學協會:纖維補強コンクリートの試験方法に関する規準, 1984.