キャストブル補強用 NAS ファイバー

小野山隆志¹⁾ 古川乙次郎²⁾ 保坂政雄³⁾

1. はじめに

キャストブル，プラスチック耐火物などの不定形耐火物の需要増は近年著しく，全耐火物に対する生産量比率も1970年19%，1975年32%，1980年35%と増大している．キャストブルの施工は型枠に流し込むだけでなく，煉瓦積のような熟練工を必要としない．さらに目地なし一体構造物も容易に打設できる特長がある．

しかしながらキャストブルは使用中に割れの発生から角欠け，小塊，大塊剥離が生じやすい難点がある．この中に高温強度，耐酸化性にすぐれたステンレス短線を均一分散することにより，繊維強化理論を応用した複合材料としてキャストブルの欠陥を改善しその寿命の飛躍的延長が可能となる．ステンレス線補強キャストブルの実用化に際して溶鋼抽出法(Melt Extraction)というユニークな技術で工業的に本 NAS ファイバーを製造することに当社は成功した．これによってステンレス線補強キャストブルの本格的な実用期に入った．

2. 溶鋼抽出法(Melt Extraction 法)

ME 法では溶けたステンレス鋼表面にネジ山状の回転

図1 溶鋼抽出法(ME 法).
(a) ディスク軸方向からみる.
(b) ディスク軸を横からみる.

ディスクをわずかに接触させて，その部分で溶鋼を瞬間的に凝固させ，回転するディスクの遠心力でこれを前方に飛ばして金属線を作る．図1に ME 法の概略を示す．金属線の長さは図1(a)に示すノッチ間隔で決まり，線

表1 NAS ファイバーの化学成分(wt%).

規格	元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe
NAS 430		≤0.12	≤0.75	≤1.00	—	16.00 ~18.00	Bal.
NAS 304 B		0.30 ~0.40	3.50 ~4.00	≤2.00	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	Bal.
NAS 310 S		≤0.08	≤1.50	≤2.00	19.00 ~22.00	24.00 ~26.00	Bal.

写真1 ファイバー外観.

写真2 NAS ファイバ 430 断面組織，上部がディスクとの接触側．(×100)

* 日本冶金工業株式会社

1) 研究開発部川崎研究所課長代理 2) 技術部課長

3) 鋳物販売部東京販売課課長代理

NAS Fiber for Reinforcement of Refractory Castables;
T. Onoyama, O. Furukawa, M. Hosaka (Nippon Yakin
Kogyo Co., Ltd.)

1981年1月31日受理

径はディスクの溶鋼の浸け込み深さと周速で調整する。標準的なサイズは長さ 25 mm, 円形断面換算で直径 0.4 mm である。表 1 に NAS ファイバーの化学成分を示す。ファイバーの引張強度は NAS 430 で 8~9 kg/本, 304 B, 10~11 kg/本, 310 S 12 kg/本である。写真 1 にファイバーの外観を写真 2 に 430 ファイバーの断面顕微鏡組織を示す。

ME 法による金属線製造の特徴を列記する。

- (1) 溶けた金属から直接金属線を作るためコストが安い。
- (2) 合金元素の調整, 線材の長さ, 線径の調整が容易である。ロットの大小は問わない。
- (3) 断面形状は半月状であり表面積は真円の線材より大きい。このことはキャストブルとの接着に有利である。

3. ファイバー補強キャストブルの性質と施工

キャストブル中にステンレス線を混入すると, なぜ強度が向上するかという研究は, コンクリート中にスチールファイバーを混入した鋼繊維補強コンクリートで多数の研究⁽¹⁾が遂行され Romualdi の提唱した繊維間隔説⁽²⁾が有力視されている。彼は繊維の間隔(S)とひび割れ強さ(σ)は式(1)であらわされ, $S \leq 12.7$ mm が有効であることを明らかにした。

$$\sigma \propto 1/\sqrt{S} \quad (1)$$

$$\text{ここに } S = 13.8d\sqrt{1/P} \quad (2)$$

d : ファイバーの直径(mm)

P : ファイバーの容積百分率(%)

以上が工業的なファイバー添加量の基本的な考え方である。

NAS ファイバーをキャストブルに混合することにより, 無添加キャストブルに対し以下の性質が附加される。

- (1) じん性(破壊までの仕事量) 10~100 倍
- (2) 引張, 曲げ強度 約 2 倍
- (3) 衝撃強度 3~5 倍

(1) 配 合

NAS ファイバーの添加量はキャストブル重量の 2~5 wt% であり, 2 wt% 以下の添加量では不均一分散の際補強効果に問題がある。5 wt% 以上では流動性が悪く練りまぜが困難となる。キャストブルへの混合はキャストブル製造工場でプレミックスする方法と, 各施工者が現場で混合する方法がある。図 2 にファイバー添加キャストブルと通常キャストブルの強度-たわみ曲線を示す。ファイバー補強はクラックの発生, 拡大を通じて破壊ま

での仕事量は約 2 桁改善される。表 2 にキャストブルの常温における曲げ強度⁽³⁾を示す。写真 3 に X 線透過写真によるキャストブル中への NAS ファイバーの分散状況を示す。

図 2 NAS ファイバー添加キャストブルと従来キャストブルの比較。

1. NAS ファイバー-304 3 wt% 添加
2. キャストブル シェモット質 Al_2O_3 53%, SiO_2 42%
3. 1200°C-3 h 加熱→常温テスト

表 2 ファイバー補強キャストブルの常温曲げ強度。
キャストブル: シェモット質 SiO_2 42%, Al_2O_3 48%
ファイバー: NAS 304 B
長さ 25 mm, 直径 0.4 mm
添加量: 5 wt%

処 理	無 添 加 (kgf/cm ²)	フ ァ イ バ ー 添 加 (kgf/cm ²)
養 生 後	578	688
乾 燥 後	438	526
300°C-3 h→RT	328	405
600°C-3 h→RT	256	341
800°C-3 h→RT	317	445
1000°C-3 h→RT	214	264
1200°C-3 h→RT	154	214
1300°C-3 h→RT	158	168

写真 3 NAS ファイバー入キャストブルの X 線透過写真。

(2) 練りまぜと流動性

練りまぜではファイバーボールの発生に注意しなければならない。これはファイバーを一度に添加したり、または極端に多い添加(例えば6wt%以上)作業で発生することがある。ポンプ圧送ではつまりの原因となりやすい。ファイバー添加により流動性は若干悪くなるので水の量は多少増やす必要がある。ポンプ圧送、吹き付等の作業も従来キャストابلと同様適用可能である。

4. 適 用

ファイバー補強キャストابلは従来キャストابل使用例のほとんどすべてに適用可能であり、特に加熱冷却による熱サイクル、振動、衝撃、水滴等の影響のある部分には最適である。使用温度も1400~1500°Cの溶鋼中、雰囲気も一般の加熱炉から焼却炉と適用範囲が拡大している。表3にファイバー補強キャストابلの使用が可能な分野を示す。

表3 ファイバー補強キャストابلの適用範囲。

均熱炉, 加熱炉, 焼 なまし炉, 焼却炉, 各種窯炉	バーナーブロック, 煙道, 熱風配 管, 天井, 炉床, 扉, ふた, 台車 トップリントル
コ ー ク ス 炉	扉, ジョイント部
焼 結 設 備	点火用口, シュート, 集じん機
ボ イ ラ ー	水管壁, バーナーブロック, 壁, 天井, 灰ホッパー, バッフル
溶 鋳 炉	炉頂, シャフト部, ガス洗浄装置, 送風支管, 配管, 溶銑とい
熱 風 炉	外周壁の一部, ダクト
電 気 炉	天井
製 鋼	連続鑄造タンディシュ, 溶鋼かく はん機
セ メ ン ト キ ル ン	プレヒーター, フード, チェンゾ ン, バーナーブロック
石 油 プ ラ ン ト	加熱炉, 分解炉
アンモニアプラント	リフォーマー, 廃熱ボイラー
ア ル ミ	アルミ溶解炉, 扉, 天井, 壁

具体例として当社の熱間圧延加熱炉のヒートシールドを述べる。使用条件は内側を加熱, 外側は水滴がかかり, 常時振動を受けている。従来品は補修しながら1カ月の寿命であったが, NAS ファイバー 310S を5wt%添加品は無補修で10ヵ月使用できる。写真4にヒートシールドの使用状況を示す。なおファイバー入ではアンカーの本数を減らせるので, アンカーボルトを通じての熱放散が減少でき省エネルギーにも貢献している。

写真4 ヒートシールド(ファイバ5%添加品,従来品は1カ月の寿命に対し10ヵ月に伸びた)。

5. お わ り に

NAS ファイバーは昭和53年から本格販売を初め, 省エネルギー, 省力, VAの要求にマッチして順調に増加している。昭和55年の実績は需要家の理解も深まり200トンに達した。本年はさらに50%増を計画している。

省エネルギー, 省資源の時代にマッチした商品として, 今後さらに各方面に使用されるものと期待している。

6. 特 許

関係する特許は5件, 出願中のもの3件である。特許895775号, 特許895778号, 特許908891号, 特許910575, 特許9251-89, 特公昭55-19038, その他出願中2件。

文 献

- (1) コンクリート工学:繊維補強コンクリート特集号, (1977年3月)。
- (2) J.P.Romualdi and G.B.Batson: Mechanics of Crack Arrest in Concrete Proc. ASCE, **89**, June(1963)。
- (3) 日本冶金: 技術資料。