

正会員 ○ 和泉 意登志 (竹中工務店技術研究所)
奥野 亨 (竹中工務店技術研究所)

1. ま え が き

鋼繊維補強コンクリートを実用化するためには、耐久性についての検討が不可欠であるが、既往の研究では耐久性に関するものは比較的少ない。特に、耐久性のなかでも建築部材に適用する際に問題となる錆についての研究は非常に少なく、この問題が完全に解決されていないことが、建築分野に適用する際の大きなさまたげとなっている。鋼繊維補強コンクリートの錆の発生を防止する一つの方法として、防錆処理を行なった鋼繊維を使用する方法があり、数種の防錆処理法が試みられている。

本実験は、現在市場化されている防錆処理法によって処理された鋼繊維の性能を検討することを目的として、防錆処理鋼繊維に要求される特性の中で、特に重要度の高い防錆効果および鋼繊維補強コンクリートとしての長期までの力学特性について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料 本実験に使用した鋼繊維を表-1に示す。繊維A、繊維Bおよび繊維Cは同一鋼繊維で、それぞれ防錆処理法が異なっている。繊維Dは鋼繊維および防錆処理法が他の繊維と異なっている。

セメントには普通ポルトランドセメントを、骨材には最大寸法5mmの川砂および造粒型人工軽量骨材の細骨材を使用した。混練水には水道水および細骨材の塩分濃度が0.2%となるように調整した食塩水を使用した。

2.2 調 合 セメントマトリックスは、水セメント比を50%、セメント砂比を体積割合で1:3と一定にした、川砂・水道水モルタル、川砂・食塩水モルタルおよび人工軽量骨材・水道水モルタルの3種類である。この3種類のセメントマトリックスに、表-1に示した4種類の鋼繊維をそれぞれ1.5%混入した。12種類の鋼繊維補強モルタルの調合を表-2に示す。

2.3 供試体の製作と環境条件 表-2に示した12種類の鋼繊維補強モルタルから、発錆試験用供試体として10×10×10cmの立方体をそれぞれ5個、また骨材として川砂を使用した8種類の鋼繊維補強モルタルから、強度試験用供試体として4×4×16cmの角柱体をそれぞれ15個成型した。供試体はすべて材令1日で脱型し、材令7日まで20℃水中養生を行なった後、表-3に示す環境条件下に静置した。

2.4 発錆試験 締め固めによる鋼繊維の配向および沈下の影響を少なくするために、供試体成型時に底面となった10×10cmの正方形の周囲から幅1cmを除外した8×8cmの正方形を測定範囲とした。各種環境条件下で、測定範囲内に発生した錆の個数を目視により測定した。

2.5 強度試験 JIS R 5201に準じて、曲げおよび圧縮強度試験を行なった。

3. 実験結果と考察

3.1 発錆試験 測定範囲内に発生した錆の個数と材令の関係を、鋼繊維補強モルタルの種類別に図-1に示

表-1 使用した鋼繊維

鋼繊維	A	B	C	D
種 類	せん断ファイバー	せん断ファイバー	せん断ファイバー	異形せん断ファイバー
寸 法(mm)	0.5×0.5×30	0.5×0.5×30	0.5×0.5×30	0.25×0.5×25
防錆処理法	無処理	上下面に亜鉛メッキ処理	ポリリジン系有機防錆処理	亜鉛メッキの上にエポキシコーティング

表-2 鋼繊維補強モルタルの調合

調合記号	骨材	混練水	繊維	繊維混入率(%)	セメント	絶対容積 (L/m ³)			
						水	骨材	繊維	
P-A	川砂	水道水	A	1.5	50	212	106	637	15
P-B			B						
P-C			C						
P-D			D						
S-A	川砂	食塩水	A	1.5	50	212	106	637	15
S-B			B						
S-C			C						
S-D			D						
L-A	人工軽量骨材	水道水	A	1.5	50	212	106	637	15
L-B			B						
L-C			C						
L-D			D						

表-3 供試体の環境条件

環 境 条 件	発錆試験	強度試験
屋外暴露 (雨, 風, 日射あり)	すべての調合	P-A, P-B, P-C, P-D
20℃, 60% RH	すべての調合	—
20℃, 80% RH	すべての調合	—
炭酸ガス中* (50~70%)	すべての調合	—
乾 湿 くり 返 し (65℃, 100% RH & 10日間, 40℃, 30% RH & 2日間)	すべての調合	S-A, S-B, S-C, S-D

*室内で温湿度はコントロールせず

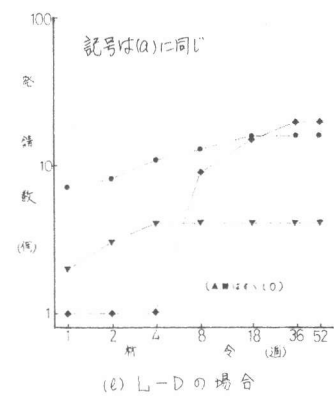
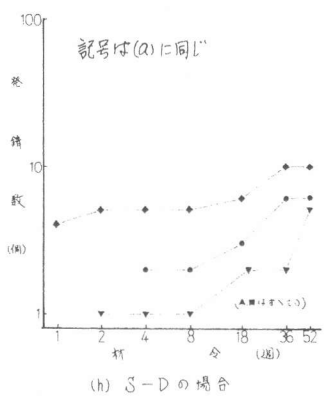
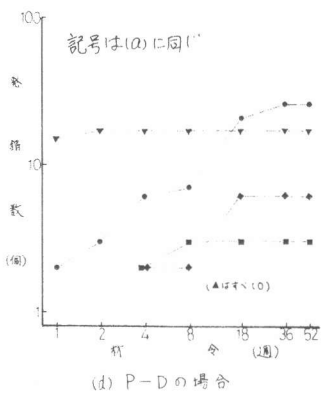
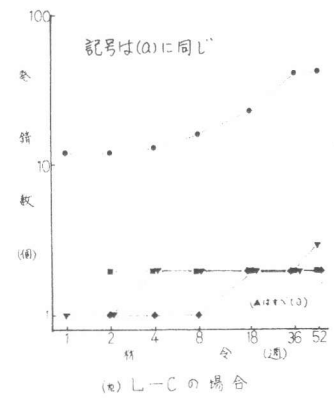
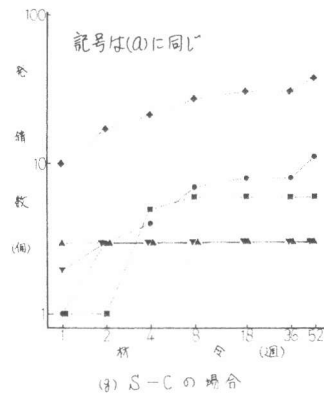
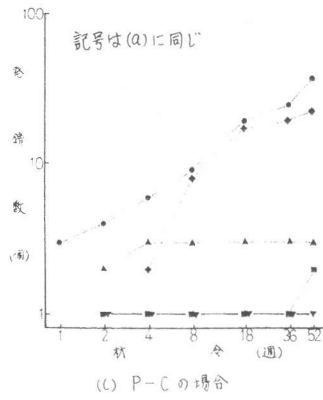
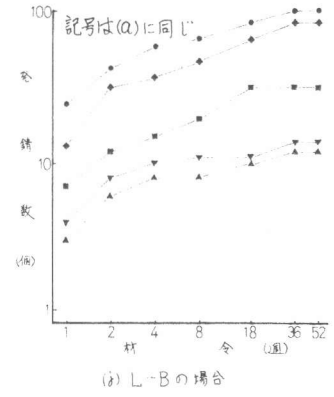
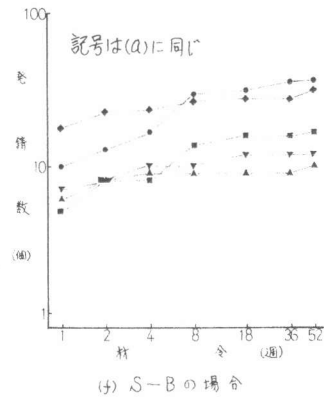
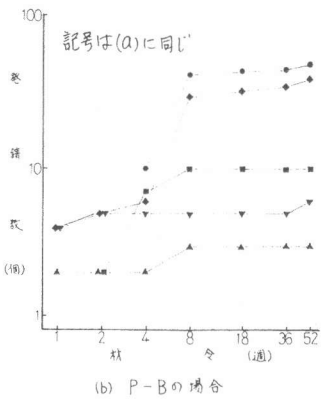
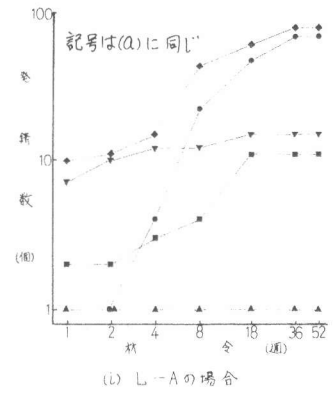
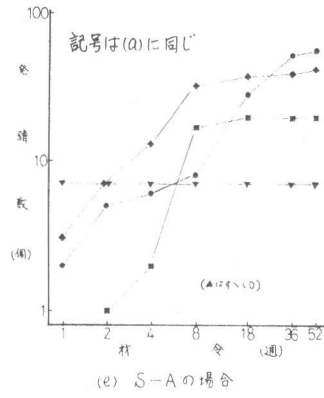
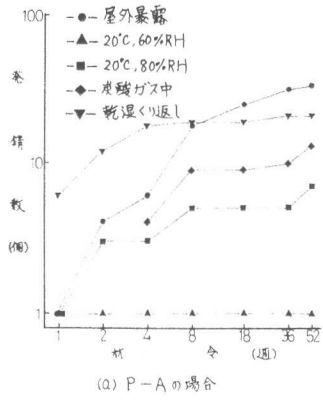


図-1 腐蝕数と材令の関係

す。発錆数は材令とともに増大するが、その増大の傾向は、繊維、マトリックスおよび環境条件の種類によって異なる。これらの要因の効果を定量的に評価するために、材令4週、36週および52週における発錆数を特性値にとり、繊維の種類(因子A)、マトリックスの種類(因子B)および環境条件の種類(因子C)を因子とした3元配置の分散分析を行なった。分散分析表を表-4に、要因効果図を図-2に示す。

主効果A: 繊維の種類, C: 環境条件の種類は、各材令について1%有意であり、B: マトリックスの種類は材令36週および52週において5%有意である。交互作用は材令4週においてA×Bが5%有意であるほかは有意差がない。材令

4週において、発錆数に影響を及ぼす要因の効果は、繊維の種類が寄与率で19.4%と最も大きく、次いで環境条件の種類、繊維の種類とマトリックスの種類の交互作用の順となっている。材令36週においては、環境条件の種類が寄与率で36.2%と最も大きく、次いで繊維の種類が寄与率で15.8%、マトリックスの種類が寄与率で4.7%となっている。材令52週においては、材令36週の傾向と一致している。

3.1.1 繊維の種類の影響 発錆数は各材令で繊維の種類による有意差がある。防錆処理を施こいた繊維Cおよび繊維Dは、防錆処理を施こいていない繊維Aよりも明らかに発錆数が少なく、防錆効果が認められる。上下面に亜鉛メッキ処理を施こいた繊維Bは、材令4週において無処理繊維Aよりも明らかに発錆数が多く、材令36週および材令52週においては繊維Aとの有意差は無くなるが、発錆数は若干大きい傾向にある。

3.1.2 マトリックスの影響 発錆数は材令36週および52週において、マトリックスの種類による有意差がある。人工軽量骨材・水道水モルタルの場合に最も発錆数が多く、川砂・水道水モルタルと川砂・食塩水モルタルには有意差がない。人工軽量骨材を用いた場合に発錆し易いのは、モルタルがポーラスで中性化し易いこととも考えられるが、鋼繊維とマトリックスの比重差が大きいため、成型時に鋼繊維が沈下する傾向が大きく、底面近くの存在繊維数が多くなったことによるものと考えられる。

3.1.3 環境条件の影響 発錆数は各材令で環境条件の種類による有意差がある。屋外暴露および炭酸ガス中の場合に最も発錆数が多く、20℃, 60%RH, 20℃, 80%RH並びに乾湿くり返しの場合には有意差がなく発錆数が少ない。特に20℃, 60%RHの場合には最も発錆数が少ない傾向にある。

3.1.4 発錆の状況 無処理の繊維Aおよび上下面に亜鉛メッキ処理を行なった繊維Bの場合は、コンクリート表面にまず点錆が発生し、材令が進むとともに腐食が進行する。コンクリート表面から深さ1mm程度にある繊維が腐食すると、その膨張圧により小さなポップアウト現象が発生していた。錆はいわゆる赤錆であった。

防錆処理を行なった繊維Cおよび繊維Dの場合は、コンクリート表面にまず点錆が発生するが、以後の腐食速度は繊維Aまたは繊維Bの場合よりも遅い。錆の色は繊維Aまたは繊維Bの場合ほど赤くなかった。繊維の腐食によるポップアウトの発生は認められなかった。

3.2 強度試験 曲げ強度および圧縮強度と材令の関係を図-3および図-4に示す。各材令における曲げ強度は、繊維の種類による強度差または成型時における繊維の配向・分散の不均一性および測定誤差等により

表-4 分散分析表

要因	材令4週			材令36週			材令52週		
	自由度	分散比	寄与率	自由度	分散比	寄与率	自由度	分散比	寄与率
A	3	7.50**	19.4	3	8.18**	15.8	3	12.15**	20.3
B				2	4.20*	4.7	2	3.73*	3.3
C	4	4.10**	12.4	4	13.31**	36.2	4	17.81**	40.7
A×B	6	2.56*	9.3						
e'	46		58.9	50		43.3	50		35.7
T	59		100.0	59		100.0	59		100.0

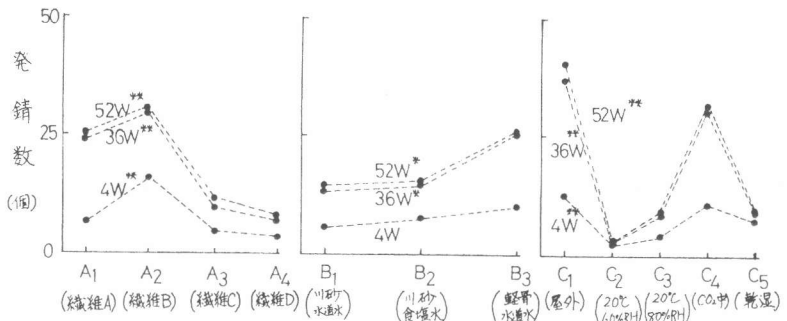


図-2 要因効果図

若干の差があるが、材令の進行による曲げ強度の低下はいずれの繊維においても認められない。防錆処理繊維と無処理繊維との間に、曲げ性状に関する有意差は無いと考えられる。

圧縮強度においても、材令の進行による強度低下がなく、防錆処理繊維と無処理繊維との間に有意差は無いと考えられる。

以上のことより、本実験で使用した防錆処理繊維の補強効果は無処理繊維と同等であると考えられる。

3.3 防錆処理繊維の性能 防錆処理繊維の防錆効果は、繊維Cおよび繊維Dにおいて顕著であったが、繊維Bにおいては全然認められず、逆に無処理繊維Aの場合より発錆数が多かった。繊維Cまたは繊維Dを使用することにより、コンクリート表面に発生する錆を低減することが可能である。ただ、環境条件の影響が大きく左右するので、使用場所の環境条件と要求される機能を充分考慮する必要がある。

防錆処理を施した繊維B、繊維Cおよび繊維Dの曲げ強度並びに圧縮強度は、無処理繊維Aと同程度の値を示し、防錆処理による補強効果の減少は材令1年までは全然認められない。

4. まとめ

防錆処理鋼繊維の性能を検討する目的で、防錆効果および鋼繊維補強モルタルの長期強度について検討した。実験結果より、ポリリン酸アルミ系無機防錆処理並びに亜鉛メッキの上にエポキシコーティング処理の防錆法については、防錆効果が顕著に認められ、強度性状の面からも問題がないことが判明した。上下面に亜鉛メッキ処理の方法では防錆効果が全くない。ただ、防錆効果が認められた処理法においても、発錆を完全に防止することはできず、環境条件によっては適用に問題が生じる場合もある。今後の防錆処理法の改良、開発およびコストダウンが期待される。

〔謝辞〕

本研究に当り、御指導いただいた東京大学生産技術研究所小林一輔教授に謝意を表します。

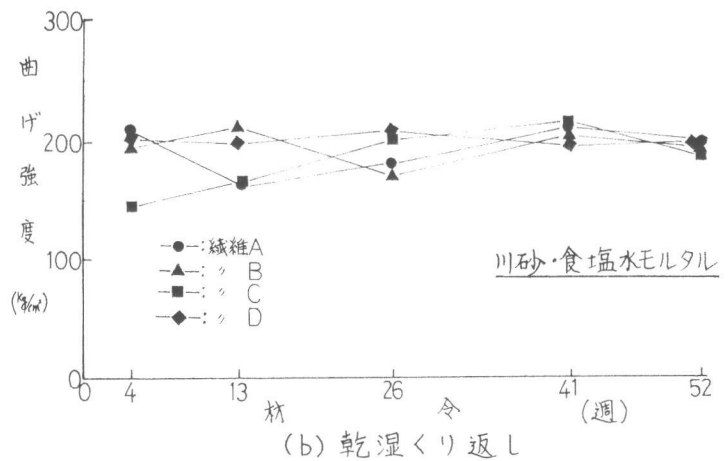
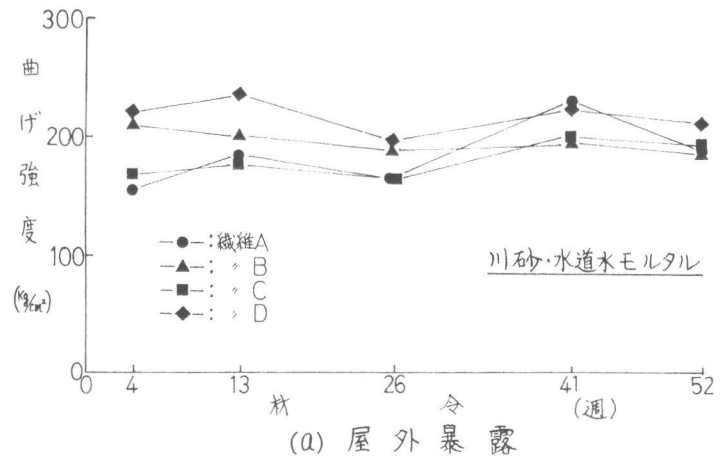


図-3 曲げ強度と材令の関係

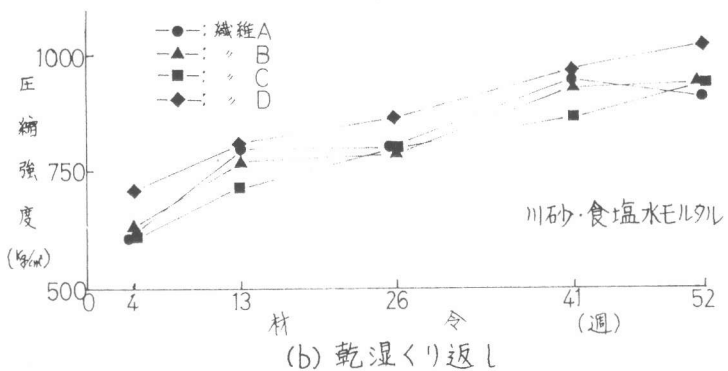
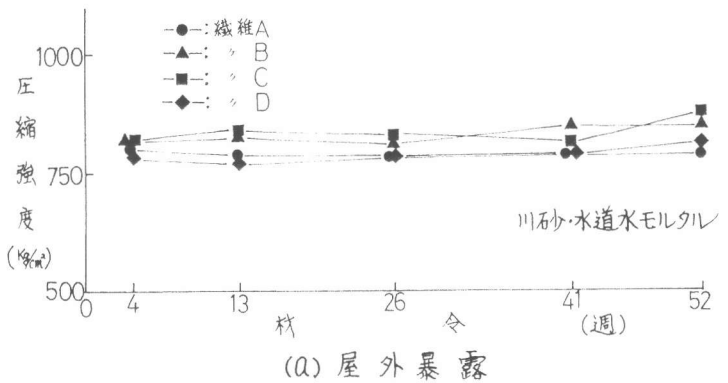


図-4 圧縮強度と材令の関係