

論文 各種の砂を用いた永久型枠用纖維補強ポリマーセメントモルタルの性状

堀井克章^{*1}・河野 清^{*2}・筒崎 卓^{*3}

要旨：環境・労働問題などから関心の高まっている永久型枠用のモルタルを、天然砂、碎砂、フェロニッケルスラグ砂の3種の細粒骨材と、ポリマー混和材やガラス纖維ネットとを用いて作製し、モルタルやこれを埋設したコンクリートの性状を調査した結果、ポリマーやネットの使用で、これらの流動性、分離抵抗性、圧縮・引張強度、耐衝撃性、すりへり抵抗性、遮塞性、化学抵抗性、耐中性化性などが高まり、スラグ砂は、材料分離性を強めるが、流動性、強度特性、寸法安定性、耐久性などの改善に有用で、簡便なポリマー浸漬乾燥処理でも、ネットの耐アルカリ性や耐力が高まることが確認できた。

キーワード：永久型枠、ポリマー、ガラス纖維、フェロニッケルスラグ砂、碎砂、湖砂

1. はじめに

近年、コンクリート分野では、纖維、微粒子、高分子などの各種新素材に関する研究が盛んに行われている。また、型枠用の南洋材資源や骨材用の天然砂資源などの大量採取が起こす環境問題、塩害や炭酸化などで生じるコンクリート部材の劣化問題、熟練工の確保や生産性の向上などに関わる労働問題、着色や造形などによって構造物表層に付加価値を求める景観問題などの改善策として、プレキャスト製品である永久埋設型枠への関心が高まりつつある。

本研究では、永久型枠用モルタル複合板の材料として、既往の研究^{1), 2)} から選定したステンレスアクリル（SA）系ポリマーや耐アルカリガラス纖維ネットの他に、新たに骨材に着目し、入手可能な天然砂、碎砂、フェロニッケルスラグ砂の細粒砂3種を取り上げ、部材で最も重要な表層部に残置されることになるモルタルの流動性や材料分離性、圧縮、引張、衝撃などの強度特性、乾燥や熱による長さ変化、すりへり、塩化ナトリウム、硫酸マグネシウム、塩酸および炭酸ガスに対する耐久性などの諸性状を調査し、ネットの耐アルカリ性についても検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

モルタル複合板の成形性から細粒を要する骨材は、琵琶湖産天然砂（比重2.55, FM1.74）、けい岩碎砂（比重2.60, FM1.21および1.72）、フェロニッケルスラグ砂（比重3.13, FM1.74）の3種を用意した。ポリマー混和材は、SA系水性エマルジョン（不揮発分質量：P 49%）で、ネットは、平面格子状からめ織りの耐アルカリガラス纖維（ $\phi 13\mu m \times 1600$ 本、格子間隔12mm）で、纖維の耐アルカリ性、纖維間の結合力、纖維とモルタルとの付着性などを高めるため、カチオン型アクリル系水性エマルジョンポリマーによる浸漬乾燥処理を1回施した。その他、早強セメント、

*1 阿南工業高等専門学校講師 建設システム工学科、工修（正会員）

*2 徳島大学教授 工学部建設工学科、工博（正会員）

*3 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻（学生会員）

非イオン系界面活性消泡剤などを用いた。モルタルの配合は、空気量を1%以下、砂セメント比:S/(C+P)を150%，ポリマーセメント比:P/(C+P)を10%で一定とし、水セメント比:W/(C+P)を40, 45, 50%と変化させ、複合板にはネットを2枚積層した。モルタルとの比較用あるいはモルタル複合板を埋設する本体部となるコンクリートは、

普通セメント、川砂、碎石、AE剤などの一般的な材料を用い、粗骨材最大寸法が20mm、スランプが8cm、空気量が6%で、W/Cを45と60%の2種とした。これらの配合を表-1に示す。なお、略号は、天然砂モルタルがNM、碎砂モルタルがCM（他の砂と粒度を合わせたFM1.72のものはCM*）、スラグ砂モルタルがSM、コンクリートがCで、添字の数字がW/(C+P)、Nがネット使用を表す。

2.2 供試体の作製

モルタルはホバート型ミキサ、コンクリートは水平2軸強制練りミキサを用い、全材料一括投入法で練りませを行った。モルタル供試体は、ネットを配した型枠にモルタルを流し込んで成形し、材齢7日まで20°C湿潤養生した後、20°C乾燥養生(60%RH)に移した。また、コンクリート供試体は、コンクリートを詰めた型枠を振動台で締め固めて成形し、20°C湿潤養生を継続した。

2.3 試験方法

フレッシュモルタルでは、JSCE-F531(PCグラウト試験方法)を参考に、JA漏斗での流下時間とポリエチレン袋でのブリーディング率を求めた。また、材料分離調査用に、 $\phi 5 \times 90\text{cm}$ 型枠を縦置きしてモルタルを流し込み、硬化後 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 供試体を切り出して材齢14日圧縮強度を求めた。

モルタルの強度は、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体の折片により、JIS R 5201に従った圧縮試験と、線荷重を加える割裂引張試験により求めた。衝撃試験は、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ コンクリート供試体による支間30cmの鋼球落下法(質量6.62kg、落下高15cm)で、破壊に至る衝撃回数を測定した。この供試体は、コンクリートと接合する面に $2 \times 2 \times 1\text{cm}$ 突起を転写式で千鳥状に設けた材齢14日の2.5cm厚モルタル複合板が、表層部に埋設するようにコンクリートを打設し、49日間20°C水中養生した。

長さ変化調査用の乾燥収縮試験は、 $2.5 \times 5 \times 40\text{cm}$ モルタル板によるコンタクトゲージ法(基長20cm)で、材齢7日以降の乾燥状態で隨時行い、熱膨張試験は、 $2.5 \times 10 \times 40\text{cm}$ モルタル板(コンクリート板は5cm厚)を材齢14日後保温水に沈め、コンタクトゲージ法で長さ変化を測定した。

耐久性評価用のすりへり試験は、ASTM C 779のB法を参考に、逆T型の水平軸左右に歯車状鋼製円盤を各々7枚装着したドレッシングホイール(直径6cm、加圧力85N、回転数180rpm)をボール盤に取り付け、 $\phi 15 \times 5\text{cm}$ 供試体のすりへり減量を求めた³⁾。塩分浸透試験は、材齢14日の複合板をコンクリート表層に埋設した $7 \times 7 \times 15\text{cm}$ 供試体を14日養生後、26%飽和NaCl水に42日間浸漬させ、割裂面にデキストリン水溶液、フルオレセインナトリウム水溶液、硝酸銀水溶液を順次噴霧乾燥させ、白変部の幅を測定した。耐薬品試験は、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体を2%塩酸水溶液と10%硫酸マグネシウム水溶液に材齢14日以降浸漬させ、質量変化を隨時調べた。中性化試験は、材齢14日以降インキュベータ(20°C, 50%RH, CO₂20%)で促進炭酸化させた $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 供試体の割裂面にフェノールフタレンインエタノール溶液を噴霧し、無着色の中性化深さを測定した。

表-1 モルタルおよびコンクリートの配合

略号	種類	W/(C+P) (%)	P/(C+P) (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	P	S	G
NM40	天然砂	40	10	288	648	72.0	1080	0
NM45	ポリマー	45	10	313	625	69.5	1042	0
NM50	モルタル	50	10	336	604	67.1	1007	0
CM40	碎砂	40	10	291	656	72.9	1093	0
CM45	ポリマー	45	10	316	632	70.3	1054	0
CM50	モルタル	50	10	339	611	67.8	1018	0
SM40	スラグ砂	40	10	314	707	78.5	1177	0
SM45	ポリマー	45	10	340	680	75.5	1133	0
SM50	モルタル	50	10	364	655	72.8	1091	0
C 60	川砂碎石	60	0	176	293	0	825	893
C 45	コンクリート	45	0	185	411	0	720	880

注) CM*はCMと同配合、成形性の良い基本配合はNM45, CM50, CM*45, SM40となる。

ネットの耐久性試験は、NaOHとKOHによる0.5Nの20°Cアルカリ水溶液に試料を浸漬後、1mm厚アルミニウム板タブとエポキシ系接着剤で端部補強し、直接引張試験法で随時耐力を求めた。モルタルやネットは、Pt-Pdスパッタリング法で走査電子顕微鏡の2次電子像観察も行った。

3. 実験結果と考察

3.1 流動性と材料分離性

モルタルのJA漏斗試験結果を示した図-1より、W/(C+P)が40~50%の範囲内で、高性能減水剤を用いることなく、流下時間が測定でき、ポリマーがモルタルの流動性の向上に有効といえる。また、W/(C+P)の増加とともに流動性が高まるが、ネットを配する薄肉板の作製で必要となるブリーディングなどの材料分離抵抗性や自己充填性から適当と思われる流下時間を試作実験より求めると60~90sとなり、これを得るためにW/(C+P)は、天然砂で45%，碎砂で50%，他の砂と粒度を合わせた碎砂で45%，スラグ砂で40%となり、これを以下の実験の基本配合とした。なお、スラグ砂モルタルの流動性が高くなる傾向がみられるが、これは、スラグ砂の比重の関係で単位水量が多いこと、角張ってはいるがガラス質のためにスラグ砂の表面は滑らかなことなどによるものと思われる。

平板の工場製品は、生産性や成形性を考慮した縦打ちが一般的だが、高流動配合では材料分離が問題となる。本実験のモルタルは、高流動ではあるが、ブリージング率は全て1%程度以下に収まり、材料分離の抑制にポリマーが有効といえる。しかし、圧縮強度と打込み高さ位置との関係を示した図-2からは、どのモルタルでも底面に近いほど強度が高くなる分離傾向がみられ、比重の大きいスラグ砂ではそれが顕著となっている。いずれにしても、高流動の配合を用いるモルタル型枠は、品質管理上平打ち成形が良いといえる。

3.2 強度特性

モルタルの圧縮および割裂引張強度を各々示した図-3および図-4より、前述した基本配合で比べると、スラグ砂モルタルの強度発現性が、他よりも良いことがわかる。これは、比重からある程度推測できるようにスラグ砂が強硬なことや、W/(C+P)の影響によるものと思われる。また、材齢91日引張強度は、一般的なコンクリートでは得難い高い値となっているが、これは、微粒子ポリマーによるフィラー効果やフィルム形成効果によるものと考えられる。その内部組織を

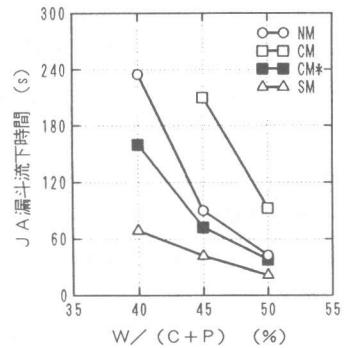


図-1 モルタルの流下時間

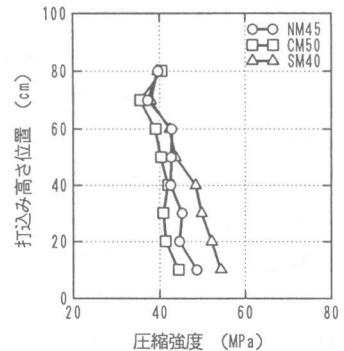


図-2 モルタルの分離状況

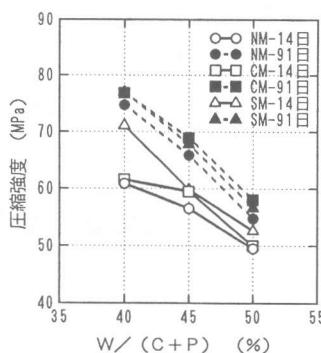


図-3 モルタルの圧縮強度

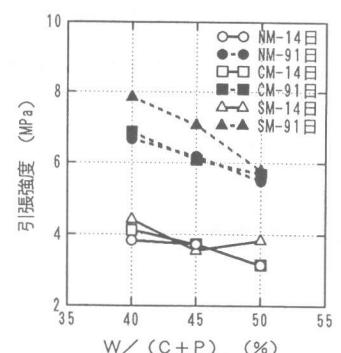


図-4 モルタルの引張強度

取り出して撮影したSEM像の写真-1にみられる滑らかな曲面が、そのフィルムと思われる。なお、一般的なポリマーセメント混和材を使ったモルタルでは、圧縮強度の増進はあまり期待できないが、本実験では比較的高い圧縮強度が得られており、今回使用したポリマーの利用価値は高いといえる。

また、コンクリートの衝撃試験結果を示した図-5では、ネットとポリマーを用いたモルタル板の埋設、とくにスラグ砂モルタル板の使用で、破壊に至るまでの衝撃回数が飛躍的に増加しており、コンクリートの耐衝撃性改善に、モルタル複合板の埋設が効果的で、スラグ砂の利用も有効といえる。

3.3 長さ変化

モルタルやコンクリートの乾燥収縮率を示した図-6より、モルタルの乾燥収縮は、通常のコンクリートよりも大きいといえるが、スラグ砂の使用でかなり抑制できること、熱膨張率を示した図-7からは、モルタルの膨張率がコンクリートよりも若干大きいことなどがわかる。なお、最小自乗法で求めた熱膨張係数は、 $9 \sim 11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ の範囲内に收まり、どれも大差ない値といえる。また、ネットが乾燥収縮の大きい碎砂モルタルの寸法安定性に有効であることが、図-6から読み取れるが、繊維混入率が小さいためか、長さ変化の比較的小さい熱膨張やスラグ砂モルタルの乾燥収縮の試験結果では、その効果があまりみられない。

なお、乾燥養生中にひびわれや反りなどの変状がないことや、型枠として実用される場合の材齢を考えると、乾燥収縮が大きいことの悪影響はあまりないものと思われる。

3.4 耐久性

すりへり試験結果を示した図

-8からは、コンクリートと比べて骨材量の少ないモルタルのすりへり減量が、碎砂の場合に同等で、スラグ砂ではW/Cが45%のコンクリートの半分程度と、良好なすりへり抵抗性のあることがわかる。これは、ポリマーによる密着性や接着性の改善効果と思われる。また、粒度を他の砂と同等にした粗粒碎砂モルタルは、既往の研究^{1), 2)}で用いている細粒碎砂のものよりも耐摩耗性が良いことや、細粒碎砂を用いた養生期間の短いモルタルの耐摩耗性が悪いことなどもわかる。

塩分浸透試験結果を示した図-9より、コンクリート単体よりもモルタル複合板を埋設したものの塩分浸透深さが小さくなっている、遮塩性の改善に複合板の使用が有効といえる。

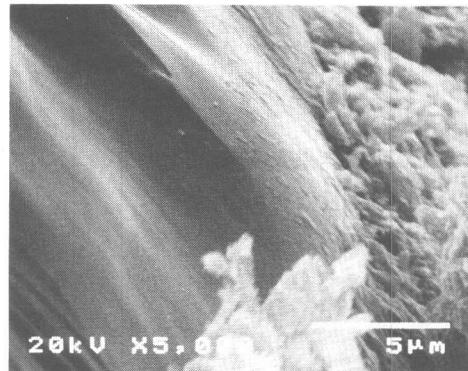


写真-1 モルタル内部のSEM像

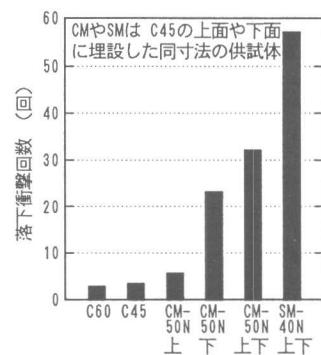


図-5 衝撃試験結果

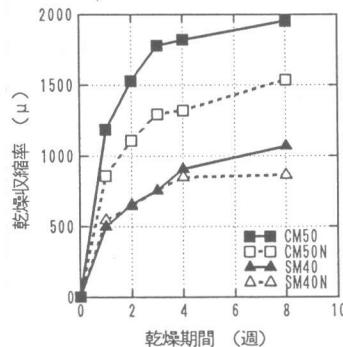


図-6 乾燥収縮試験結果

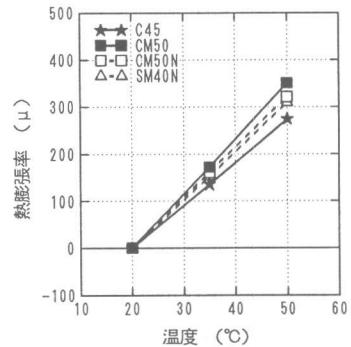


図-7 热膨張試験結果

$MgSO_4$ 水溶液浸漬試験結果を示した図-10からは、コンクリートでは、質量が材齢とともに一度増加してから24週以降減少する傾向がみられるが、モルタルの質量変化は、乾燥養生後の浸漬による吸水現象以後小さく、ポリマーの使用は、海水などに多く含まれ、エトリンガイトを生成してセメント硬化体を劣化させる硫酸塩に対する抵抗性を高めるといえる。同様にHClによる試験結果の図-11では、塩酸に対しても、コンクリートよりモルタルの方が抵抗性が高く、化学抵抗性の改善にモルタル複合板の使用が有効といえる。

これら、コンクリートよりもセメント量の多いモルタルでみられる良好な耐薬品性は、ポリマーフィルム形成の効果と思われるが、それに要する乾燥養生期間が本実験では材齢7日以降の7日間と短く、これをより長くすると、モルタルの耐薬品性はさらに高まるものと思われる。なお、図-10および11からは、モルタルの耐薬品性に及ぼす使用骨材やW/(C+P)の影響があまりないことがわかる。また、塩酸水溶液浸漬1年後には、コンクリートで大部分、モルタルで表層10数mmの部分が、指圧で崩れる程度にまで脆くなっていた。

中性化試験結果を示した図-12より、コンクリートに比べてモルタルの中性化深さが小さく、ポリマーの使用は中性化的抑制にも有効であるといえる。

3.5 ネットの耐久性

強度、剛性、色合い、価格などから選定したガラス繊維は成分調整した耐アルカリガラス製であるが、セメント硬化体中では耐アルカリ性が問題となる。本研究では、FRP製造などにみられる特殊な設備や費用のかかる樹脂加圧含浸処理ではなく、

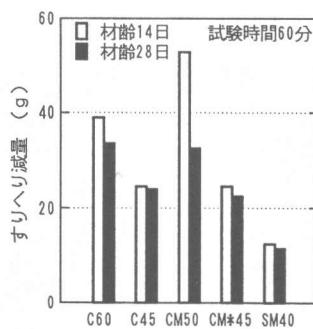


図-8 すりへり試験結果

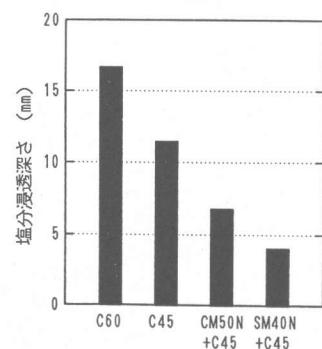


図-9 塩分浸透試験結果

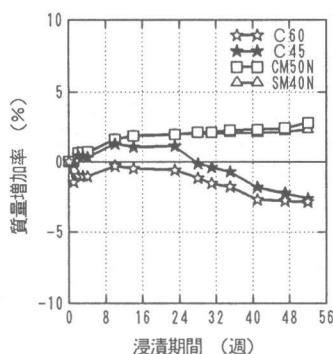


図-10 $MgSO_4$ 水溶液浸漬結果

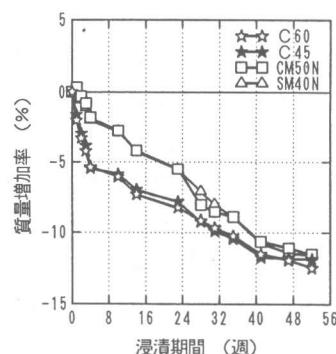


図-11 HCl水溶液浸漬結果

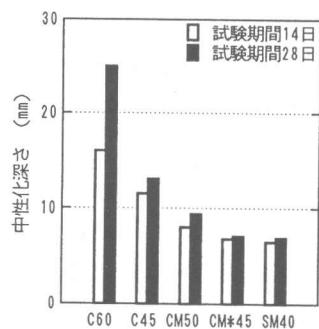


図-12 中性化試験結果

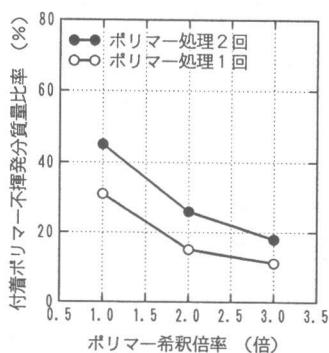
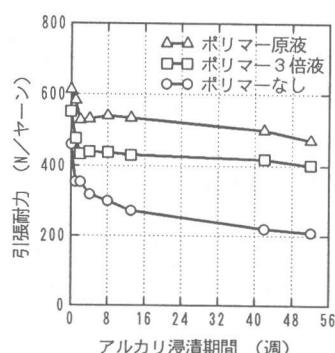


図-13 ネットの付着ポリマー量



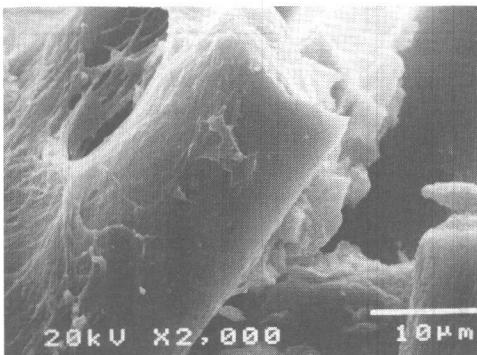


写真-2 ポリマー3倍液処理ネットのSEM像

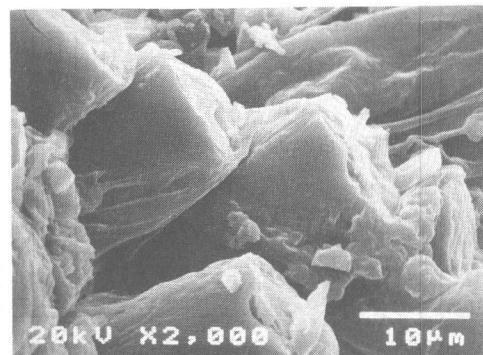


写真-3 ポリマー原液処理ネットのSEM像

繊維ネットをポリマー液に浸漬後乾燥する簡便なアルカリ劣化対策を考えた。この手法によってネットに付着するポリマー不揮発分量を示した図-13から、ポリマー希釈倍率や浸漬乾燥処理回数により、その付着量を比較的自由に操作でき、重要度に応じたネットの処理が可能といえる。

アルカリ水溶液に浸漬したネットの引張試験結果を示した図-14より、耐アルカリガラス繊維でも、アルカリ劣化の傾向がみられるが、ポリマーの使用でそれをかなり抑制でき、耐力自体も高まることがわかる。これは、13週間アルカリ水に浸漬したネットの内部を示した写真-2および3にみられるように、繊維に付着したポリマーの保護効果や結合効果によるものと思われる。

4.まとめ

永久型枠用モルタルに、スチレンアクリル系ポリマー、耐アルカリガラス繊維ネット、天然砂、碎砂、フェロニッケルスラグ砂などを用いた本研究結果を、実験範囲内で以下に要約する。

- ①スラグ砂の使用は、天然砂や碎砂に比べ、モルタルの材料分離性を強めるが、流動性、圧縮・引張強度、耐衝撃性、乾燥収縮低減性、すりへり抵抗性、遮塞性、化学抵抗性などを高める。
 - ②ポリマーの使用は、モルタルの流動性、ブリーディング、圧縮・引張強度、すりへり抵抗性、中性化などの品質改善に有効である。
 - ③ポリマーやネットを用いたモルタルは、乾燥収縮が大きいが、熱膨張係数はコンクリートと同程度で、耐衝撃性、遮塞性、耐薬品性などに優れる。
 - ④簡便なアクリル系ポリマー浸漬乾燥処理は、ガラス繊維ネットの耐アルカリ性や耐力を高める。
- 以上から、ネットやポリマーを用いるモルタルは、経済性や施工性に難点が考えられるが、永久型枠あるいは補修補強材としての利用価値があり、副産物のスラグ砂も有用な材料といえる。今後は、永久型枠の部材への実用化や、型枠内に打設するコンクリートに対する石炭灰の多量使用や砂抜き配合でのポーラス化などといった天然砂保護の検討などを行う予定である。

【参考文献】

- 1) 堀井克章・河野清・佐々木啓次：連続繊維ネットとポリマー混和材を用いたモルタル板の諸性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.1, pp.1017-1022, 1993.6
- 2) 川口修宏・森内誠司・河野清・堀井克章：ガラス繊維とポリマーを用いた埋設型わくの基礎的性質とコンクリートとの付着性状、第48回セメント技術大会講演集、pp.894-899, 1994.5
- 3) 堀口 敬・猪又 稔：コンクリートに関する各種の摩耗試験法の特性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No.1, pp.685-690, 1992.5