高曲げ強度セメント・モルタルの研究

(調合方法と諸物性に関する研究)

STUDY ON THE MIXING PROPORTIONS OF HIGH BENDING STRENGTH MORTARS
AND THEIR CHARACTERISTICS山本 康弘^{*1}, 本間 礼人^{*2}, 三田 紀行^{*3}, 斎藤 仁^{*4}
Yasuhiro YAMAMOTO, Ayato HOMMA, Noriyuki MITA
and Hitoshi SAITO

This paper is intended to study the mixing proportions of high bending strength mortars which have been developed recently and have been reported on this Transaction of AIJ No.492, 1997. 2. On this paper, the effects of the percentage of silica-fume, water binder ratio, sand binder ratio and the grain size of the sand were studied in order to grow up the bending strength of mortar.

And the characteristics of these mortars were clarified, such as young's modulus, shrinkage, absorption, shockproof and fireproof properties.

Keywords: high-bending strength mortar, heat curing, percentage of silica-fume,
siloxane binding, grain size, sand binder ratio

高曲げ強度モルタル、加温養生、シリカフューム添加量、シロキサン結合、粗粒率、砂結合材比

1. まえがき.

本研究はセメント系水和物の曲げ強度の向上に関する研究である。これに関しては既報¹⁾において、曲げ強度の向上方法とそれによるセメント水和物の内部組織について述べ、曲げ強度を向上するためには、モルタルにシリカフュームを添加して練り混ぜを行ったあと、一次養生を行い、続いて二次養生、即ち60℃程度の加温養生を行うことによりモルタルの内部に珪酸の多量体が得られ、これらがシロキサン結合による架橋を形成して高い曲げ強度が得られることを示した。

本研究は、これらの研究に引き続き、このような高曲げ強度を得るためのセメント・モルタルの調合方法と、その諸物性について研究したものである。

まず、調合方法としては、シリカフュームの添加量、水結合材比、砂結合材比および細骨材の粒径と粒度などと曲げ強度・圧縮強度との関係について検討した。またこれらの高曲げ強度モルタルの弾性係数、収縮率、吸水率、衝撃耐力および耐熱性・耐火性などについて検討した。

表 1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント	比重 3.16
	低発熱セメント	比重 3.23
細骨材(S)	鹿島産陸砂 吸水率 1.51%、表乾比重 2.58	
	珪砂 5号、6号、7号	
混和材(Si)	シリカフューム(E社製 11940D)	比重 2.20
混和剤(AE)	芳香族アミノスルホン酸系 高性能AE減水剤(F社製 FC-1790)

図 1 モルタルの練り混ぜ順序

表 2 一次水と二次水の割合

水結合材比	一次水	二次水
20%以下	二次水を除く全部	減水剤のみ 1%
25%	二次水を除く全部	減水剤のみ 2%
30%	水のみ 23%	一次水を除く全部

*1 東京都立大学工学研究科建築学専攻 教授・工博

*2 東京都立大学工学研究科建築学専攻 助手・工修

*3 職業能力開発大学校建築工学科 助手・工修

*4 東京都立大学工学研究科建築学専攻 大学院生・工修

Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
Research Assoc., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., M. Eng.
Research Assoc., Dept. of Architectural Engineering, Polytechnic Univ., M. Eng.
Graduate Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., M. Eng.

2. 実験方法

(1) 使用材料

使用材料は表1に示したとおりである。セメントはT〇社製普通ポルトランドセメントを、細骨材は鹿島産陸砂の2.5 mmふるいの通過分のものを使用した。なお、これらの細骨材は湿潤状態で使用した。また細目砂として珪砂の5～6号のものを使用した場合および鹿島産砂と7号珪砂とを混合して使用した場合について検討した。それらの性質は表1に示した通りである。また、混和材にはE社製のシリカフュームで非顆粒のもの(I1940-D)で、比表面積20万cm²/gのものを使用した。また混和剤はF社製の高性能AE減水剤(FC-1790)を使用した。

(2) 練り混ぜ方法

モルタルの練り混ぜ方法は自転公転ミキサを使用し、分割練り方式で行った。練り混ぜ順序は図1のとおりである。一次水、二次水のセメント重量に対する水と高性能AE減水剤の割合は表2に示した通りである。また、練り混ぜ前にセメントとシリカフュームをあらかじめV型ミキサで15分間混練した。

(3) 養生方法

養生方法は表3の通りで、打ち込み成形後から加温養生までの一次養生は20℃湿空養生で養生期間は1日または2日間行い、それに続く二次養生は60℃の加温養生で3日または6日間の期間行なった。その後の後養生は20℃の水中で強度試験材齢まで養生した。なお乾燥収縮試験の場合は二次養生のあと温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室で養生を行った。

(4) 試験方法

(i) フロー試験

モルタルの流動性はセメントの物理試験方法(JIS R5201)のフロー試験によりフロー値を測定し、各モルタルのフロー値ができるだけ、140～200の範囲になるようにした。

(ii) 曲げ強度・圧縮強度試験

曲げ強度試験および圧縮強度試験方法はセメントの物理試験方法(JIS R5201)に準じて行い、4×4×16 cmの供試体を作成しこれを中央集中荷重で曲げ試験を行った。また圧縮強度試験は、曲げ強度試験で破断した左右2つの供試体を用い、載荷試験を行った。

3. 高曲げ強度モルタルの調合方法

3.1 シリカフュームの添加率と曲げ強度

シリカフュームの添加率とモルタルの曲げ強度の関係を調べるため表4のごとく水結合材比が20、25および30%のモルタルに対してセメントの内割で0、5、7.5、10および12.5%のシリカフュームを混入して§2で述べた方法によりモルタルの練り混ぜおよび供試体の作製を行った後、1日間の一次養生に続き、二次養生として60℃の加温養生を6日間行った場合と20℃の普通養生を行った場合について実験を行った。なおシリカフュームの添加率が0%で水結合材比が20%のもので砂結合材比が1.25のときはフロー値が低く供試体の作製が不能であった。これらのモルタルの水結合材比が20%（シリカフューム無添加の場合は25%）の場合の調合例を示すと表5のごとくなる。

実験結果は図2～3の通りであり、図2は曲げ強度試験の結果、図3は圧縮強度試験の結果である。図中の太い実線は加温養生の場合

表 3 モルタルの養生方法

養生の種類	一次養生	二次養生	後養生
	1,2 日間	3,6 日間	3 週間
加温養生	20℃湿空	60℃温水中	20℃水中
普通養生	20℃湿空	20℃水中	

表 4 実験要因と水準

実験要因	実験水準
水結合材比(W/B)	20、25、30
シリカフュームの添加率(Si/B)	0、5、7.5、10、12.5
砂結合材比(S/B)	1.0、1.25、1.5

表 5 モルタルの主な調合と強度

調合No.	シリカフューム(Si/B)	砂結合材比(S/B)	水結合材比(W/B)	混和剤(%)	フロー値(mm)	曲げ強度(kgf/cm ²)	圧縮強度(kgf/cm ²)
No.1	0%	1.5	25%	2	142	119	882
No.2	5%	1.25	20%	4	122	221	1071
No.3	7.5%	1.25	20%	4	156	249	1252
No.4	10%	1.25	20%	4	139	280	1340
No.5	12.5%	1.25	20%	6	147	280	1495

注: W: 水, B: セメント+シリカフューム, S: 砂, Si: シリカフューム

—□— W/B=20%普通養生	—□— W/B=20%温水養生
—○— W/B=25%普通養生	—○— W/B=25%温水養生
—△— W/B=30%普通養生	—△— W/B=30%温水養生

図 2 シリカフュームの添加量と曲げ強度

図 3 シリカフュームの添加量と圧縮強度

合であり、細い実線は普通養生の場合の結果である。これらの結果より次のごときことがわかった。

普通養生の場合には、シリカフュームを添加することにより曲げ強度および圧縮強度は増加し、その添加率が多くなるに伴って強度が増加する。その場合の増加量は曲げ強度で最大50 kgf/cm²程度であり、圧縮強度で300 kgf/cm²程度である。これをパーセントであらわすと前者で30%程度、後者でも30%程度であることが分かった。

次に、シリカフュームを添加して一次養生および二次養生による加温養生を行った場合には曲げ強度は120 kgf/cm²程度増加し、圧縮強度は400 kgf/cm²程度増加した。これをパーセンテージで表すと前者の場合は100 %程度増加したことになり、後者の場合は40%程度増加したことになる。これは、本研究において開発された養生方法により、曲げ強度が著しく増加したことを示し、シリカフュームの添加とそれに続く一次養生および二次養生の加温養生が曲げ強度の増加に顕著な効果があることを示しており、しかもその効果はセメントに対するシリカフュームの添加率が多い程高くなっている。しかし今回の実験では280 kgf/cm²程度の曲げ強度が得られているが、それ以上では頭打ちの傾向が見られた。

3.2 シリカフュームの総添加量と曲げ強度

次にこれらの実験結果から水結合材比が20%および25%の場合におけるモルタル1m³当たりのシリカフュームの総添加量と曲げ強度の関係について示すと図4～5のごとくなる。これらより、水結合材比20%および25%のいずれの場合にも曲げ強度はシリカフュームの総添加量の増加にほぼ比例して増大するが280 kgf/cm²程度で頭打ちの傾向が見られた。また、シリカフュームの総添加量が83kg/m³以下の場合に、材齢4週の曲げ強度が材齢1週の曲げ強度より低くなっているのは、セメントの固化に伴う体積減少に対応するためのシリカフュームの量が不足しているためと思われる。従って、材齢4週の曲げ強度を材齢1週の曲げ強度より高い値を確保するためにはシリカフュームの総添加量を100 kg/m³以上にする必要があると言える。

3.3 水結合材比(W/B)と曲げ強度

次に、高曲げ強度モルタルの水結合材比(W/B)と曲げ強度の関係を調べるため、シリカフュームの添加量を10%とし、水結合材比(W/B)を18, 19, 20, 25, および30%とした場合の強度実験を行なった。モルタルの練り混ぜおよび養生方法は§2で述べた通りである。

図6は実験結果を示したものであって、水結合材比(W/B)が小さくなると、曲げ強度および圧縮強度は増大する。水結合材比(W/B)=20%以下では1週および4週強度とも280ないし295 kgf/cm²の曲げ強度が得ることが出来た。またフロー値は水結合材比が小さくなると、表5のように小さくなりフロー値が130以下の場合は打ち込むことが困難となり、空隙が多くなり材齢4週の曲げ強度もやや低下したものである。

3.4 砂結合材比(S/B)と曲げ強度

砂結合材比(S/B)と曲げ強度の関係を調べるため、水結合材比(W/B)=20%、シリカフューム10%を混入した場合で、砂結合材比(S/B)=0, 1, 1.25, 1.5のモルタルについて実験を行った。また養生方法は§2の通りとした。結果は図7に示したとおりである。この結果より、高曲げ強度モルタルの曲げ強度は砂結合材比(S/B)が1.25の場合に最も高くなっていることが分かった。

図4 シリカフューム総添加量と曲げ強度 (W/B=20%、温水養生)

図5 シリカフューム総添加量と曲げ強度

図6 水結合材比による曲げ強度 (シリカフューム10%添加時)

図7 砂結合材比による曲げ強度

3.5 微細砂の使用と曲げ強度

ここでは高曲げ強度モルタルの曲げ強度の一層の向上を目的としてモルタルの主要構成材料である細骨材の粒径および粒度分布が曲げ強度に及ぼす影響について検討した。使用した材料は表1に示したとおりで、セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材には粒度分布の異なる4種類の珪砂を単独または混合して使用した。モルタルの調合は表6のごとく、珪砂5号および6号に対し、水結合材比を20%および18%とした計4通りの試験体を作製し、普通養生と加温養生の違いによる強度変化を測定した。その結果は図8のごとく、曲げ強度は1週および4週ともに粒子径の小さい珪砂6号を使用したモルタルが高い曲げ強度を示していることが分かった。これは粒子が細くなることで細骨材の表面積が増し結合材-骨材間での加温養生による反応が促進されたためと考えられる。

次に水結合材比(W/B)を20%としてシリカフュームの添加率をセメントの10%とし、細骨材として鹿島産陸砂を用いた場合と鹿島産陸砂に7号珪砂を内割りで30%混合した場合の高曲げ強度コンクリートについて§2に述べた方法に従って供試体を作製して強度実験をおこなった。

実験結果は図9に示す通りであって、砂のなかに7号珪砂のような細かい細骨材を30%混入したものは、材齢4週の曲げ強度の伸びが大きく、高い曲げ強度が得られることがわかった。

以上により、高い曲げ強度を得るためにはシリカフュームを添加し加温養生するとともに、細骨材には粒子径の小さいものを用いるのが適切であるといえる。

4. 高曲げ強度モルタルの諸物性

次に、高曲げ強度モルタルの諸物性について、動弾性係数、吸水率、収縮率、耐衝撃性および耐熱性・耐火性の測定を行った。養生方法は§2の加温養生の場合と普通養生の場合の2種類について検討した。動弾性係数については水結合材比(W/B)=20、25、30%の場合でのシリカフューム5、7.5、10、12.5%のものについて測定を行い、また、吸水率、収縮率および衝撃試験については水結合材比(W/B)=20%、シリカフューム10%添加のものについて測定した。

4.1 高曲げ強度モルタルの動弾性係数

動弾性係数は材齢4週の圧縮強度の供試体について共鳴法ヤング率測定器で測定した。

実験結果は図10aに示す通りで、動弾性係数は 4.5×10^5 ないし 5.5×10^5 kgf/cm²である。また、圧縮強度と動弾性係数の関係は図10aのごとく圧縮強度の増加とともに大きくなっている。温水養生と普通養生の動弾性係数を比較すると、温水養生の方が普通養生の場合よりやや小さい動弾性係数となっており、これは図10bのごとく普通養生のものは曲線となっており、残留歪みが残しやすいと考えられる。

4.2 高曲げ強度モルタルの吸水率

高曲げ強度モルタルの吸水率を調べるため、材齢4週の4×4×16 cmのモルタル供試体を80℃の乾燥器内で乾燥させた後に、長さ方向に水中に平行に深さ2 cmまで水中に沈め、その重量変化を24時間まで測定した。

実験結果は図11に示したとおりで、温水養生したものの吸水率が0.25%であり、普通養生の場合の0.75%に対して1/3になった。こ

表 6 曲げ強度と細骨材の種類とを調べたモルタルの調合表

No.	細骨材	水結合材比	砂結合材比	混和材量	混和割合	フロー値
①	5号	20%	S/B=1.0	Si/B=0.1	AE/C=3%	300以上
②		18%				171
③	6号	20%				300以上
④		18%				167

図8 曲げ・圧縮強度と細骨材種類の関係

図9 砂の種類と曲げ強度の関係

図 10a 圧縮強度と動弾性係数

図 10b 応力-歪み曲線

れはシリカフュームの添加と温水養生によりモルタルの組織が緻密になったためと考えられる。

4.3 高曲げ強度モルタルの収縮率

高曲げ強度モルタルの収縮率を測定するため温水養生を終了した $4 \times 4 \times 16$ cmの供試体の両端に1 cm角のガラス板を張り付け、それぞれに刻線し、その間隔が14 cmになるようにし、これを基長として、1/1000mmの精度のコンパレータを用いて1週間毎に13週までの長さ変化を測定した。なお供試体は温水養生の後、温度20℃湿度60%の恒温湿室で養生した。

実験結果は図12に示すように、温水養生のものの収縮率は0.02%以下となり、普通養生のものは収縮率が0.06%となり、前者は後者の1/3であった。これらの収縮率は材齢2週あたりから安定していることがわかる。これはシリカフュームの添加と加温養生によりモルタルの組織が緻密になったためと考えられる。

4.4 高曲げ強度モルタルの耐衝撃性

高曲げ強度モルタルの耐衝撃性を調べるため厚さ4 cmで 13.2×16 cmの供試体を作製し図13aのごとく、重さ1 kgの茄型おもりを投下して割れた時の投下高さを評価指標（エネルギー指標）として測定した。投下高さは30 cmから40, 50, …100 cmのピッチで順次高くして落下させて実験を行った。

実験結果は図13bのとおりであり、普通養生のものは平均高さ70 cmで破壊したのに対し、温水養生したものは高さ130 cmの時に破壊した。これは普通養生のものの1.9 倍であり、シリカフュームを添加して温水養生したものは耐衝撃性についても高い値となった。このことは内部組織がシリキサン結合により微細欠陥の少ないものになっていることによるものと思われる。

4.5 高曲げ強度モルタルの耐熱性・耐火性

シリカフュームを混入して加温養生することによって得られる高曲げ強度モルタルの耐熱性および耐火性について検討した。加熱実験としては比較的低温（300℃以下）で加熱された場合の耐熱実験および高温（500～1050℃）で加熱された場合の耐火実験を行った。

モルタルの調査は表7のとおりであり、使用材料、練り混ぜ方法および養生方法は§2の通りとした。

(1) 実験方法

実験は材齢6週となった供試体について、次の二通りの加熱実験を行った。まず比較的低温（300℃以下）の加熱実験としては加熱温度を200, 300℃、加熱時間を1, 3時間と設定し、電気炉を用いて加熱した。この場合の加熱速度は30℃/hとした。次に高温（500～1050℃）の加熱実験としてはJIS A1304に規定されている耐火加熱曲線に準じて耐火試験炉を用いて加熱した。加熱時間は30分（840℃）、一時間（925℃）、二時間（1010℃）および三時間（1050℃）とした。これらの加熱実験後の圧縮強度試験、曲げ強度試験、長さ変化率の測定などを行った。

(2) 実験結果と考察

4週強度および各加熱試験後の圧縮強度および曲げ強度を図14および図15に示した。また加熱前後の長さ変化率を図16に示した。これらの結果から次のことが明らかになった。

i) 低温加熱の場合

低温加熱（300℃以下）試験をしたものの圧縮強度は、図14aのごとくほとんど変化はなかったが、曲げ強度は図15aのごとくシリカ

図 11 吸水率の測定結果

図 12 収縮率の測定結果

図13a 衝撃試験概念図

図 13b 衝撃試験結果

表 7 モルタルの調査表

モルタルの種類	W/B	S/B	減水剤(%)	シリカ添加率(%)
シリカ添加	23	1.25	4	10
シリカ無添加	25	1.5	2	0

フュームを添加したものは、普通養生および温水養生のいずれの場合にも低温加熱によって80%程度の曲げ強度に低下した。しかし、その収縮率は、シリカフュームを添加して普通養生したものは、低温加熱により0.2%程度の収縮率に増大したのに対し、温水養生したものは0.13%程度の収縮率で安定している。

以上の結果から低温加熱後のモルタルは、シリカフュームの添加の有無および養生方法に関係無く、圧縮強度はほとんど低下しないが、曲げ強度は、80%程度に低下する。

また、その収縮率は、シリカフュームを添加して普通養生したものは、0.2%程度に増大しているのに対し、温水養生したものは、0.13%程度で安定している。

ii) 高温加熱の場合(500～1050℃)

加熱時間が30分(840℃)の高温加熱では図14bのごとく圧縮強度の低下はほとんど認められないが、加熱時間が1時間(925℃)では圧縮強度はいずれも70%ほどに低下した。さらに加熱時間が3時間(1050℃)ではシリカフュームを添加し温水養生したものは50%程度までの低下であったが他は圧縮強度の低下が大きく、特にシリカフュームを添加し普通養生したものはこの時点で全て爆裂した。なお、シリカフューム無添加のものは30%の残存強度を示した。

次に曲げ強度については図15bのごとく加熱時間が30分(840℃)で急激に低下し、元の強度の約1/6になった。また加熱3時間(1050℃)ではシリカフュームを添加して普通養生したものはすべてこの時点(1050℃)までに爆裂した。しかし、温水養生したものは爆裂は全く認められなかった。このことは温水養生によりペースト内部のシリカフュームがゲル状から多量体の結晶に変化したためと考えられる。

5. まとめ

以上、シロキサン結合による高曲げ強度モルタルの調査方法と諸物性について検討してきた。その結果、次のごときことが分かった。

- (1) 高曲げ強度モルタルの曲げ強度はシリカフュームの添加率に比例して増大するが、加温養生することにより曲げ強度は顕著に増加し、元の曲げ強度の2倍程度に増大する。
- (2) シリカフュームのセメントに対する添加率は10%程度以上が適切である。
- (3) 高曲げ強度モルタルの曲げ強度はシリカフュームの総混入量〔モルタル1m³に対する混入量(kg/m³)〕に比例して増大し、シリカフュームの混入量を100 kg/m³以上にすると4週強度が安定する。
- (4) 高曲げ強度モルタルの水結合材比は、18～25%程度が最適である。水結合材比が大きいと細孔量が増大し、曲げ強度はあまり向上しない。また18%以下のように著しく小さい場合には締め固めが不十分となりやすく、曲げ強度がやや低下する可能性がある。
- (5) 高曲げ強度モルタルを得るための適切な砂結合材比が存在し、今回の実験では砂結合材比は1.25が最適となった。
- (6) 高曲げ強度モルタルの4週強度を向上させるためには、粒度の小さい砂を使用する方がよく、今回の実験では6号珪砂が効果的であった。
- (7) 高曲げ強度モルタルの4週強度を増大させるためには、一般の

図14 4週圧縮強度と加熱後の強度変化

図15 4週曲げ強度と加熱後の強度変化

図16 加熱前後の長さ変化率

川砂等に7号珪砂を30%程度混合するのが効果的である。

- (8) 高曲げ強度モルタルの弾性係数は $4.5 \times 10^5 \sim 5.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であり普通養生した場合よりやや小さい値となった。
- (9) シリカフュームを添加して温水養生した高曲げ強度モルタルの吸水率は0.25%以下であり、普通養生の場合の吸水率0.75%の約1/3と小さくなっている。
- (10) シリカフュームを添加して温水養生した高曲げ強度モルタルの収縮率は0.02%以下であり、普通養生したモルタルが0.06%であるのと比較して、約1/3と極めて小さい値となった。
- (11) シリカフュームを添加して温水養生した高曲げ強度モルタルの耐熱弾性能は、シリカフュームを添加して普通養生したものに比較して1.9倍の耐熱弾性を示した。
- (12) 低温加熱時の耐熱性についてはシリカフュームを添加し、普

通養生および温水養生したものは圧縮強度はほとんど変化しないが、曲げ強度は80%程度に低下した。

- (13) 低温加熱後のモルタルの収縮率は、シリカフュームを添加して普通養生したものは、0.20%に増大するが、温水養生したものは、0.13%程度と安定している。
- (14) 高温加熱時のモルタルの圧縮強度は30分加熱で70%程度に低下した。3時間加熱の場合ではシリカフュームが無添加のものは30%程度に低下し、シリカフュームを添加して普通養生したものは、この時点までに全て爆裂を起こした。しかし、シリカフュームを添加して温水養生したものは爆裂は起こらず、50%程度の圧縮強度を保持している。

謝辞

本研究にあたり、卒業論文として研究を進めていただいた大成建設(株)の園田博己氏、三井ホームの松本秀司氏、匡 錦標氏および研究にご協力頂いた相武生コン(株)の方々に謝意を表します。

参考文献

- (1) 山本康弘, 本間礼人, 三田紀行: 高曲げ強度セメント・モルタルの研究(養生方法と内部組織に関する研究), 日本建築学会構造系論文報告集, 第492号, pp. 7~14, 1997. 2
- (2) 山本康弘, 大澤清八, 園田博己: 高曲げ強度フレキシブルモルタルの研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 467~468, 1993. 9
- (3) 山本康弘, 本間礼人, 石黒宏: 高曲げ強度モルタルの諸物性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1473 ~ 1474, 1995. 8
- (4) 三田紀行, 山本康弘: 高曲げ強度モルタルの諸物性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 835~836, 1996. 9
- (5) 三田紀行, 山本康弘, 大澤清八: セメントモルタルのセラミックス化に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第470号, pp. 11~18, 1995. 4
- (6) 本間礼人, 菅原進一, 高 治遠: コンクリートの爆裂性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1393 ~ 1394, 1992. 8
- (7) 佐治泰次, 松藤泰典, 吉岡俊二, 石田信一: モルタル試験体によるシャルピー式衝撃曲げ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1975. 10), pp. 41, (1977. 10), pp. 223, (1978. 9), pp. 187.
- (8) 佐治泰次, 松藤泰典: コンクリートの衝撃試験方法, コンクリート工学Vol. 23, No. 3, pp. 73~81, 1985. 3.
- (9) 地濃茂雄, 仕入豊和: 練混ぜ時及び養生初期に高温下にあるコンクリートの長期強度増進性の改善方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第350号, pp. 1~8, 1985. 4
- (10) 仕入豊和, 地濃茂雄: コンクリートの初期加熱条件と強度発現性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 149~150, 1981. 9
- (11) H.Uchikawa and R.Furuta: HYDRATION OF C₃S-POZZOLANA-PASTE ESTIMATED BY TRIMETHYLSILYLATION, CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, Vol.11, pp.65~78, 1981
- (12) B.R.Currell, H.G.Midley, M.Mentecinos and J.R.Parsonage : A STUDY OF PORTLAND CEMENT HYDRATION BY TRIMETHYLSILYLATION TECHNIQUES, CEMENT AND CONCRETE RESEARCH. Vol.15, pp.889~900, 1985
- (13) K.Kato, Y.Fukaya and M.Tanaka: HYDRATION PROPERTY OF VARIOUS CEMENTS UNDER ADIABATIC CONDITIONS, 9TH INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, pp.124~130, 1977

(1997年3月10日原稿受理, 1997年7月8日採用決定)