

高炉セメントB種を使用したモルタルの耐摩耗性と強度

松本 伸介¹・篠 和夫¹・吉武 美孝²・垣内 英樹³

(¹農学部生産環境工学科・²愛媛大学農学部・³愛媛県)

On the Durability of Abrasion and Strength of the Mortar Using Portland Blast-Furnace Cement

Shinsuke MATSUMOTO¹, Kazuo SHINO¹

Yoshitaka YOSHITAKE², and Hideki KAKIUCHI³

¹*Department of Environmental Technology, Faculty of Agriculture;*

²*Faculty of Agriculture, Ehime University;*

³*Ehime Prefectural Government*

Abstract: This paper compares the characteristics of two kinds of cement, namely, Portland blast-furnace cement (FC) and Portland cement (PC). The comparison includes durability against abrasion and strength of mortar using each kind of cement. Based on the experiments using a design method, the effects of the mix portion ratio and water cement ratio, as well as the kind of cement mentioned above were taken into consideration.

The abrasion and strength experiments aged for 3~180 days showed that the durability to abrasion and strength of the young mortar with FC were less than those with PC. However, for the older mortar, the superiority of PC was reversed. Therefore, from the viewpoint of durability to abrasion and strength, we concluded that the use of FC, which is said to be superior under some chemically severe conditions as those the sewerage pipes poses no problems.

Key word : Portland blast-furnace cement, Abrasion, Compressive strength,
Design of experiments

I. 緒 言

現在、日本の下水道整備率は先進国の中では非常に低く、農業土木事業における農村集落排水施設の充実が急務といえる。その下水道の築造に用いられるコンクリートには、生活排水などの下水に対して耐性を有することが望まれる。

すなわち、下水道用材料としては、耐化学薬品性のある高炉セメントの使用が想定されることになる。ところが、下水道は、流水や流砂による損傷作用を受けるため耐摩耗性にも優れていることが求められる。また、骨材の有効利用の観点から高炉セメントを使用するダムや頭首工、消波ブロック、海岸堤防なども流水や波浪の作用を受けるので、摩耗性に関する検討が必要となる。

こうしたコンクリートの損傷作用は、初期段階では主として表層のモルタルが受けるため、強度のみならずモルタルの摩耗特性を把握することは極めて重要である。

そこで、本研究では、高炉セメントB種を使用したモルタルの耐摩耗性を知る目的で、普通ポルトランドセメントを使用したモルタルとの比較検討を行った。

損傷作用には、一般に部材表面に平行に働くすりみがきの要素と、これに直角に働く突き砕きの要素がある。部材が使用される状況によってこれらの要素の割合が異なり、また両作用を併せて行うような試験方法も確立されていない現状では、部材の摩耗に対する抵抗性を厳密に判定することは困難である。しかしながら、コンクリートの耐摩耗性を検討するための試験方法として、フライアッシュセメントを用いた既報¹⁾で提案したすりみがき作用のみによる実験からでも有益な知見が得られている点に鑑み、今回も同様の方法を用いた。

実験は、実験計画法に基づき、上述のセメントの種類ほかに、モルタルの強度および耐摩耗性に影響を与えると考えられる配合比および水セメント比を加えた3因子をそれぞれ2水準にとり、L₈の直交表に割付けて、材令7,14,28,91および180日のすりみがき作用による摩耗試験を行うとともに、材令3,7,14,28,91および180日の強度試験も併せて実施した。

II. 実験材料および実験方法

1. 実験材料

(1) セメントおよび細骨材

セメントは普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を、細骨材としては豊浦標準砂を用いた。

(2) 摩耗材

摩耗試験において供試体の表面を滑動してモルタルを摩耗させるために摩耗材を用いる。これには、高知県中部を流れる物部川の河口で採取した砂利をふるい分け、試験機内で滑動しやすいように、10mmふるいを通過して5mmふるいに留まるものを使用した。なお、その比重は2.68であった。

2. 実験方法

(1) 因子と水準および直交表L₈への割付け

実験は、実験計画法に基づいて行ったが、因子と水準は表-1に示すようにとった。

表-1 因子と水準

因子	水準	
	1	2
A (セメントの種類)	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種
B (配合比)	1 : 2	1 : 3
C (水セメント比)	0.50	0.60

表-1中の因子A,B,Cの強度および耐摩耗性に対する主効果およびそれらの交互効果を解析するために、各因子とその水準を表-2に示す直交表L₈に割付けた。

表-2 直交表L。

因子	A	B	A×B	C	A×C	B×C	A×B×C
列							
No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

(2) 供試体

曲げおよび圧縮強度試験をセメントの強さ試験に準じて行うこととしたため、強度試験用の供試体は、モルタル供試体成形用型で作成した。

表-2の各実験番号についての材令による強度試験は、上記のとおりに成形された供試体を3個使用することにした。したがって、各実験番号の各材令について曲げ強度は3個、圧縮強度は6個のデータを得ることになるので、各々の平均値をもって試験結果とした。

摩耗試験は、試験機として外寸400mm×650mmふるい用の骨材ふるい分け機を用いて、同時に2個実験することとしたので、その寸法上の制約から、試験用の供試体は、内寸215mm×150mm×50mmの型枠を作製して成形した。そして、試験結果としては、各実験番号の各材令について行った2個の平均値を用いた。

(3) 強度試験および摩耗試験

1) 強度試験

強度試験は、前述のようにJIS R 5201のセメントの強さ試験に準じて、曲げおよび圧縮強度試験を行った。

2) 摩耗試験

摩耗試験のための試験機としては、前述のように、骨材ふるい分け機（振幅=34mm、周期=0.31s）を利用した。

供試体は、図-1に示す鉄製の枠の中に2個入れて、骨材ふるい分け機に固着した。その際、この2個の供試体間および供試体と鉄製枠との隙間には紙を詰めて動かないようにすることで、互いの摩擦や衝突による摩耗・損壊を防ぐようにした。

供試体を入れた枠の中に摩耗材4kgを敷き詰め（厚さ約10mm）、これを骨材ふるい分け機に固着させた後、試験機を作動させた。この時、摩耗材を入れた空間の高さが40mmあるので摩耗材は自由に動くことができ、そのために供試体表面をすりみがき作用によって摩耗することになる。また、摩耗材が飛び出さないように、鉄製枠に木製の蓋を取り付けた。摩耗試験時間は、連続8時間とした。

なお、摩耗量は、摩耗試験前後の供試体質量の差を、摩耗試験前の質量に対する百分率で評価した。そのとき、供試体として養生水槽から引き揚げた直後のものを用いると試験中に蒸発する水分量が無視できないので、供試体を予め乾燥させてから実験を行う必要がある。そのために、数回の予備試験の結果を踏まえ、風通しの良好な場所で24時間陰干した供試体を用いて実験を行うこととした。

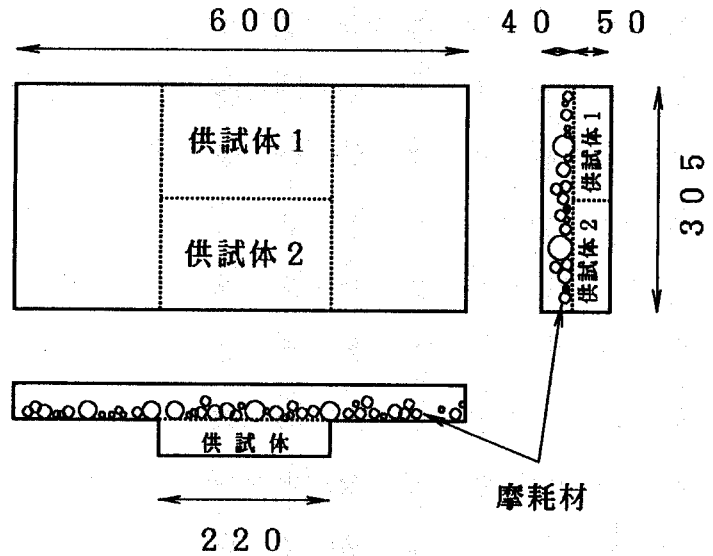


図-1 摩耗試験用供試体装着のための鉄製枠・供試体・摩耗材(単位: mm)

III. 実験結果とその考察

1. 各要因の曲げおよび圧縮試験に及ぼす寄与率

分散分析を行い、曲げおよび圧縮強度の実験結果に対し各要因の寄与率を求めると、表-3,4に示すようになる。とくに、F検定で危険率1%あるいは5%で有意と認められた要因については、**あるいは*を附している。

表-3 各要因の曲げ強度に対する寄与率

要 因	材 令 (日)					
	3	7	14	28	91	180
A	19.0**	10.9	9.9*	5.9**	1.0*	0.0
B	74.4**	63.0*	81.1**	83.9**	87.7**	83.9**
A×B					1.2*	1.5*
C				0.3	3.9**	4.3**
A×C						
B×C	0.9*			2.0*	1.0*	
A×B×C						
e ₁		26.1	9.0			
e ₂	5.7			7.9	5.2	10.3
合 計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

** : 危険率1%で有意 * : 危険率5%で有意

表-4 各要因の圧縮強度に対する寄与率

材 令 (日)	3	7	14	28	91	180
要 因						
A	19.0**	26.9*	17.4**	11.2**		0.1*
B	76.2**	50.9**	77.1**	81.1**	93.5**	92.7**
A×B	0.3*			2.6**		0.6**
C	0.5**	6.5		0.7**	3.4**	
A×C				1.0**		
B×C	1.6**			0.6**		4.7**
A×B×C						
e ₁		15.7	5.5			
e ₂	2.4			2.8	3.1	1.9
合 計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

** : 危険率1%で有意 * : 危険率5%で有意

これより、次のような傾向が認められる。

- 1) 本実験に関しては、曲げ強度、圧縮強度ともに、配合比が著しく大きな寄与率を示し、また、それはほぼ材令とともに増大する。
- 2) セメントの種類寄与率は、材令の初期において若干認められるが、長期になると認められなくなる。
- 3) 水セメント比の寄与率は、材令の如何にかかわらず極めて低い。

2. 各要因の摩耗量に及ぼす寄与率

分散分析により摩耗量の実験結果に対する各要因の寄与率を求めると、表-5に示すようになる。ここに、**、*は、表-3,4と同様、F検定で危険率1%あるいは5%で有意と認められた要因を意味する。

表-5 各要因の摩耗量に対する寄与率

材 令 (日)	7	14	28	91	180
要 因					
A		3.0**	3.5*		18.7
B		7.4**	11.6**	37.4	28.0
A×B					
C		39.3**	38.8**		
A×C		8.0**			
B×C		38.8**	34.9**		
A×B×C					
e ₁	100.0			62.6	53.3
e ₂		3.5	11.2		
合 計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

** : 危険率1%で有意 * : 危険率5%で有意

これより、次のような傾向が認められる。

- 1) 各要因の摩耗量に対する寄与率は、曲げおよび圧縮強度の場合とは異なり、他の2因子に比し水セメント比の寄与率が大きくなっている。
- 2) セメントの種類および配合比による寄与率は、材令とともにほぼ増大する。

3. 圧縮強度

本実験では、前述のように強度試験として曲げおよび圧縮強度試験を行ったが、ここでは、モルタルひいてはコンクリートの性質として、より重要な意味を持つ圧縮強度について考察することとする。

(1) 要因効果

各材令において、危険率1%あるいは5%で有意な要因についての効果図を図-2に示す。なお、図中の線分両端に付したI印は、信頼度95%での母平均推定値の信頼限界の幅を示す。

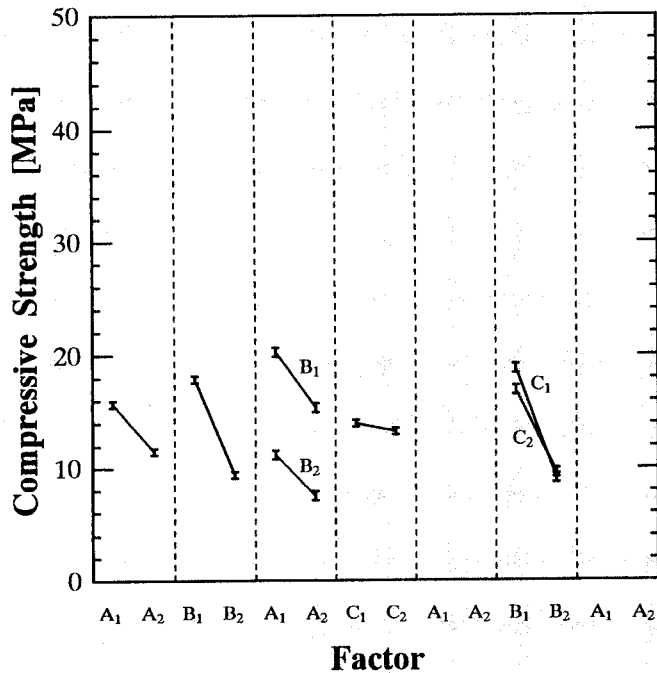


図-2 (1) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 3日)

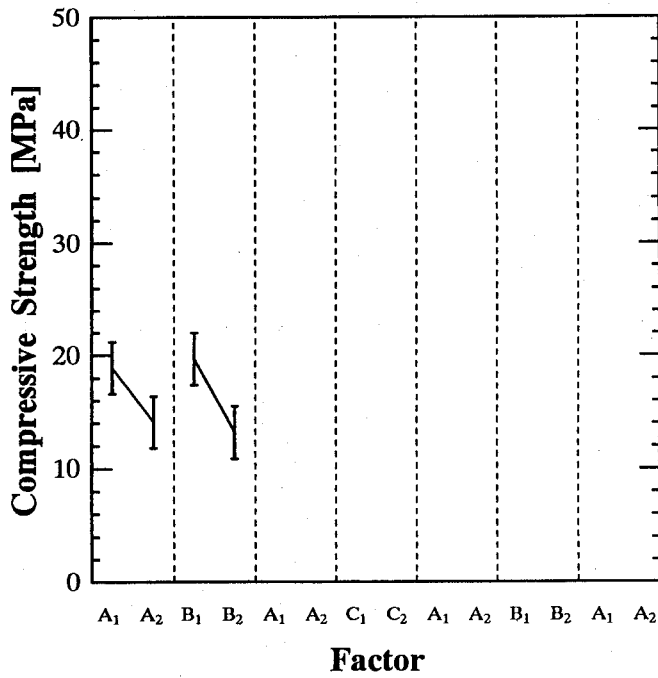


図-2 (2) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 7日)

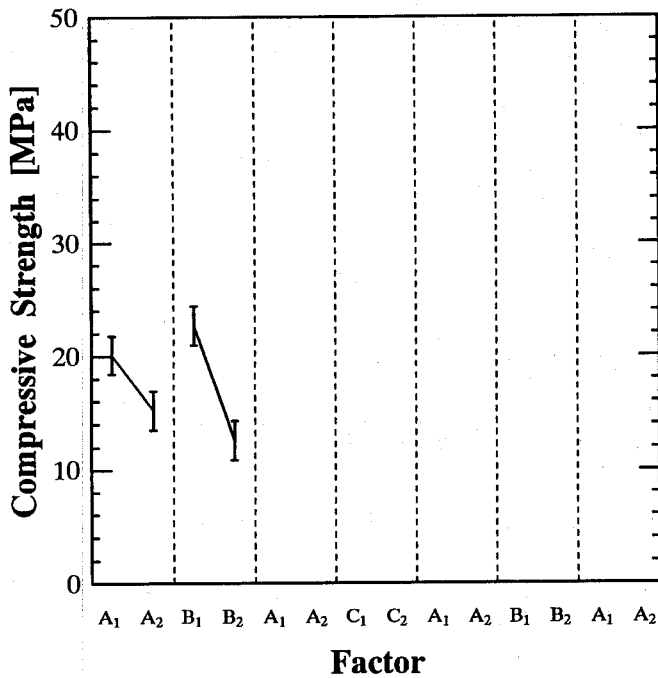


図-2 (3) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 14日)

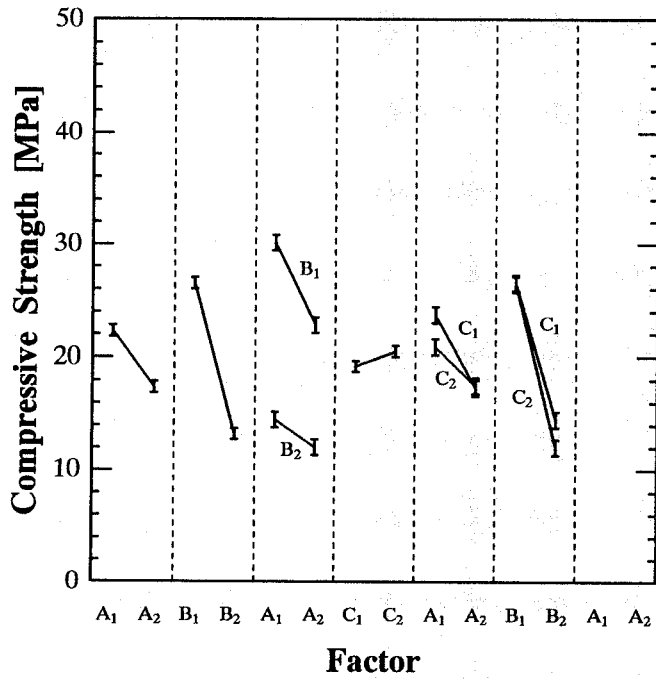


図-2 (4) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 28日)

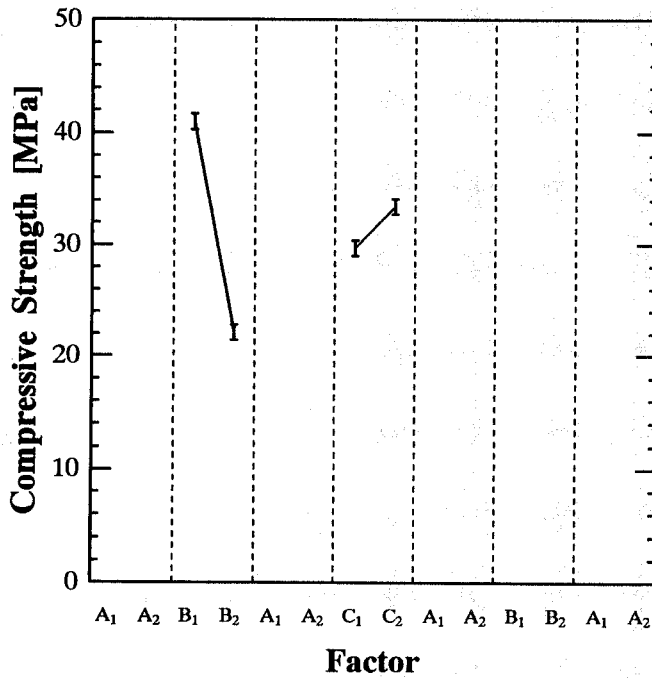


図-2 (5) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 91日)

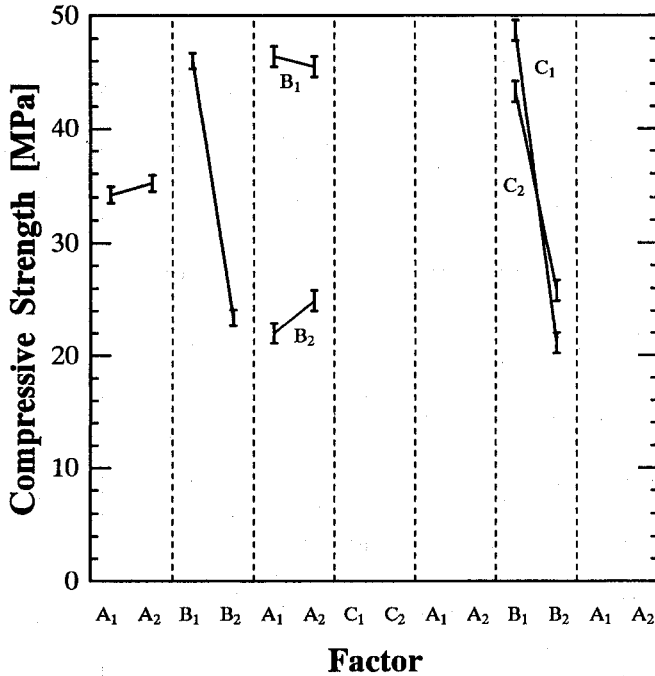


図-2 (6) 圧縮強度に対する要因効果図 (材令 180日)

これらの効果図より、次のことが認められる。

- 1) セメントの種類による効果は、材令3日から28日において、普通ポルトランドセメントを使用したモルタルの方が高炉セメントB種を使用したモルタルより強度がやや大きい。それに対し、材令180日の場合には高炉セメントB種を使用した方が強度が若干大きい。その際のセメントの種類による強度の差は、両者の信頼限界の幅が重なっているため、有意であるとはいえない。
- 2) 配合比については、実験を行った全材令において、1:2の場合の方が1:3の場合より強度が大きく、その強度差は、総じて材令が進むにつれ増大する。
- 3) 水セメント比については、前述したセメントの種類や配合比ほど顕著な影響は認められない。材令3日では0.50の場合の方が0.60の場合よりわずかながら強度は大きい。材令28日以降では逆に0.60の場合の方が0.50の場合よりやや大きくなる。
- 4) セメントの種類と配合比との交互効果が有意な要因と認められたのは、材令3日、28日および180日の場合であって、そのいずれの場合も配合比が1:2の場合の方が1:3の場合より強度が大きいことがわかる。また、同じ配合比であれば、材令180日で配合比1:3の時を除き普通ポルトランドセメントを使用した場合の方が大きくなっている。
- 5) セメントの種類と水セメント比との交互効果が有意な要因と認められたのは、材令28日の場合のみである。この時、普通ポルトランドセメントを用いた場合の方が、また、水セメント比0.50の場合の方が、強度は大きく出現していることが分かる。
- 6) 配合比と水セメント比との交互効果が有意な要因と認められたのは、材令3日、28日および180日の場合である。これは、セメントの種類と配合比との交互効果が有意と認められた場合と一致する。しかし、その傾向は水セメント比による差はきわめて小さく、専ら配合比による影響

が現われたものと考えられる。

(2) 材令による強度の変化

普通ポルトランドセメントと高炉B種を使用したそれぞれの場合について、配合比を1:2と1:3、水セメント比を0.50と0.60に変えた場合の材令と圧縮強度との関係を図-3に示す。

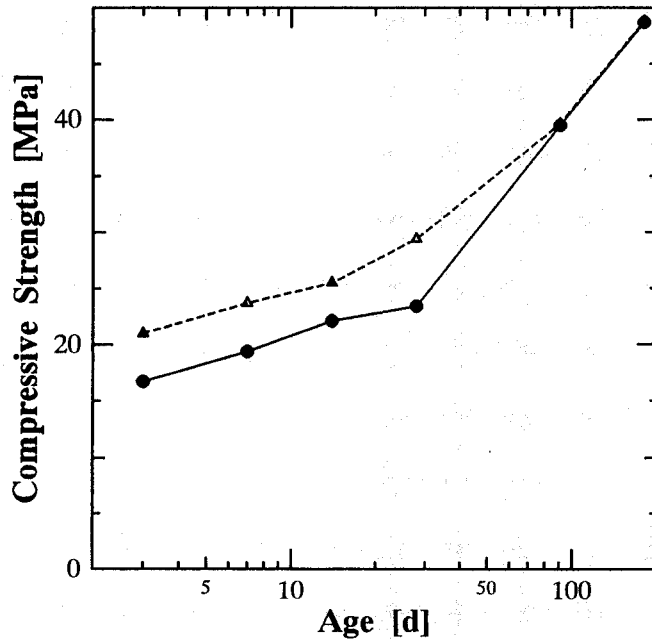


図-3 (1) 各要因による材令と圧縮強度との関係 (配合比 1 : 2, 水セメント比0.50)
(実線 : 高炉セメントB種, 破線 : 普通ポルトランドセメント)

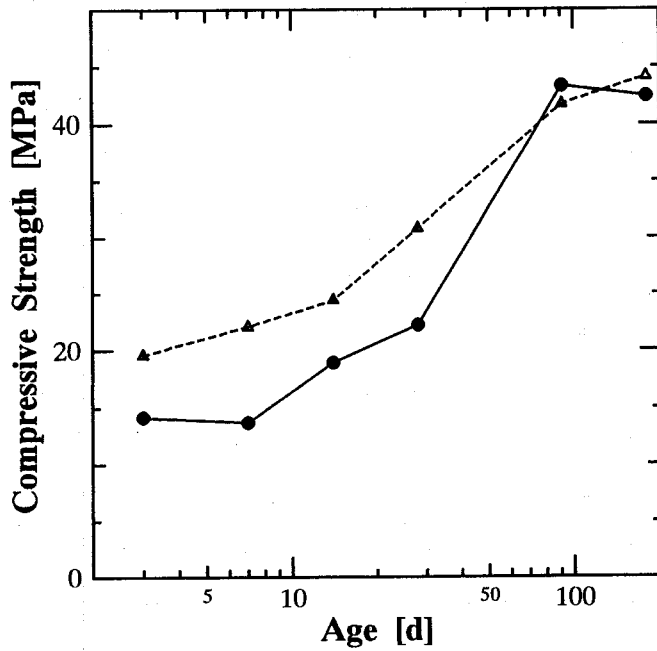


図-3 (2) 各要因による材令と圧縮強度との関係 (配合比 1 : 2, 水セメント比0.60)
(実線: 高炉セメントB種, 破線: 普通ポルトランドセメント)

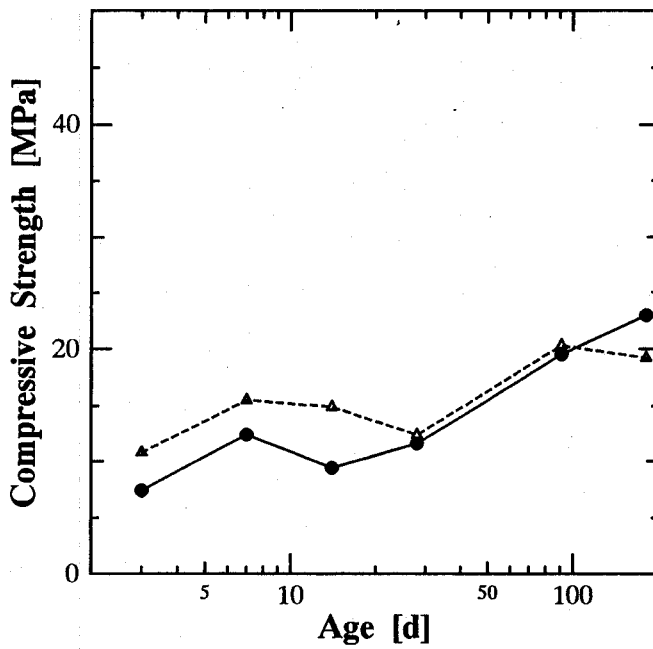


図-3 (3) 各要因による材令と圧縮強度との関係 (配合比 1 : 3, 水セメント比0.50)
(実線: 高炉セメントB種, 破線: 普通ポルトランドセメント)

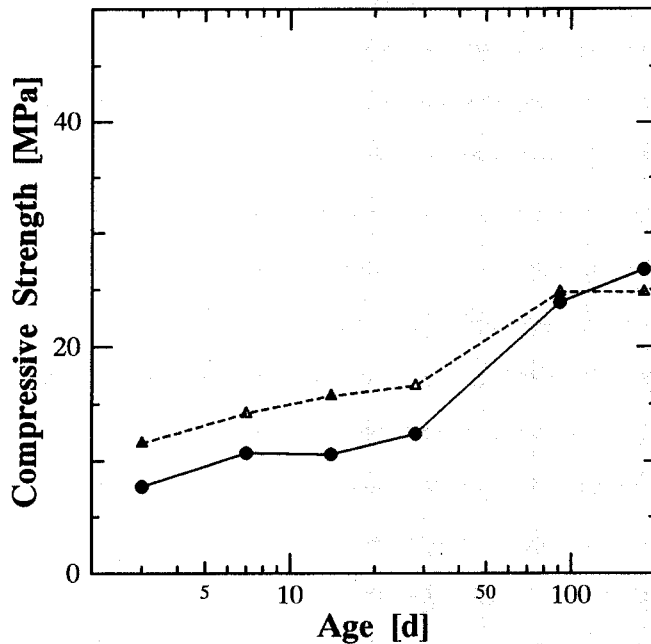


図-3 (4) 各要因による材令と圧縮強度との関係 (配合比1:3, 水セメント比0.60)
(実線: 高炉セメントB種, 破線: 普通ポルトランドセメント)

これらの図より、次のことが言えよう。

- 1) この実験の範囲内では、材令28日までのいわゆる初期強度は、配合比および水セメント比が同じとき、高炉セメントB種を使用した場合の方が幾分小さいが、材令91日になると、セメントの種類による強度差はほとんどなくなり、180日での長期強度は、逆に高炉セメントB種を使用したモルタルの方が大きくなる傾向が見られる。
- 2) 配合比による強度差が大きく、水セメント比による強度差は比較的小さい。

(3) 各要因による強度の変化

1) セメントの種類

3,7,14,28,91および180日の各材令における、高炉セメントB種を使用した場合の平均圧縮強度を、普通ポルトランドセメントを使用した場合のそれに対する比で表すと、それぞれ71.7,74.8,73.7,80.0,99.0,105.9% となり、材令が進むにつれその値は大きくなった。

これより、材令28日までの初期強度は高炉セメントB種の方が劣っているが、91日で両者がほぼ同程度となり、180日では高炉セメントB種を用いた場合の方がわずかながら優れていることが分かる。

2) 配合比

3,7,14,28,91および180日の各材令における、配合比1:3の場合の平均圧縮強度を、1:2の場合のそれに対する比で表すと、それぞれ52.3,67.9,55.3,50.4,53.8,51.5% となり、材令とともに単調に変化することはなかった。また、いずれの材令においても配合比1:3の場合には、1:2の場合の半分強程度の圧縮強度しか得られないことが分かる。

3) 水セメント比

3,7,14,28,91および180日の各材令における, 水セメント比0.50の場合の平均圧縮強度を, 0.60の場合のそれに対する比で表すと, それぞれ97.5,85.4,99.8,110.1,114.9,105.8% となった.

これより, 材令7日までは水セメント比0.50の方が優れているが, 14日で両者はほぼ同程度となり, 28日以降では逆に0.60の場合の方が優れていることが分かる.

4. 摩耗量

(1) 要因効果

表-5に示された, 危険率1%あるいは5%で有意な要因についての効果図を図-4に示す. 圧縮強度に対する要因分析の際と異なり, 材令が14日と28日の場合にのみ危険率5%で有意な結果が含まれている. なお, 図中の線分両端に付したI印は, 図-2の場合と同様の意味である.

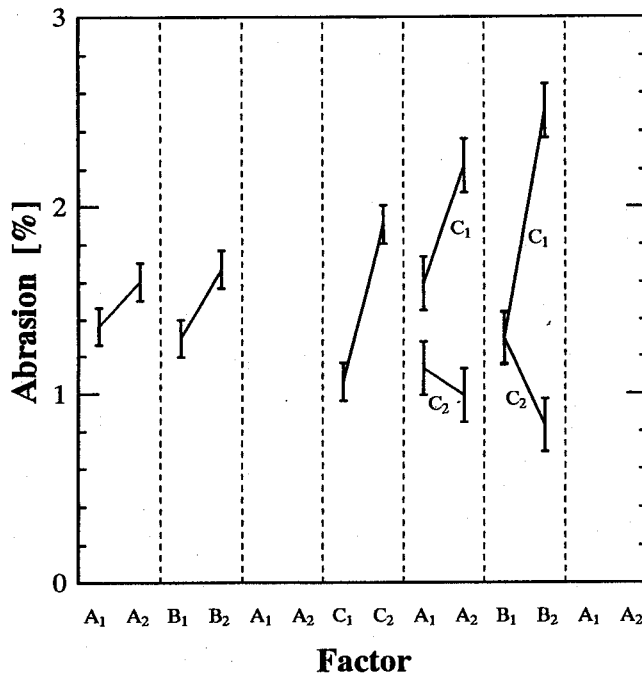


図-4 (1) 摩耗量に対する要因効果図 (材令 14日)

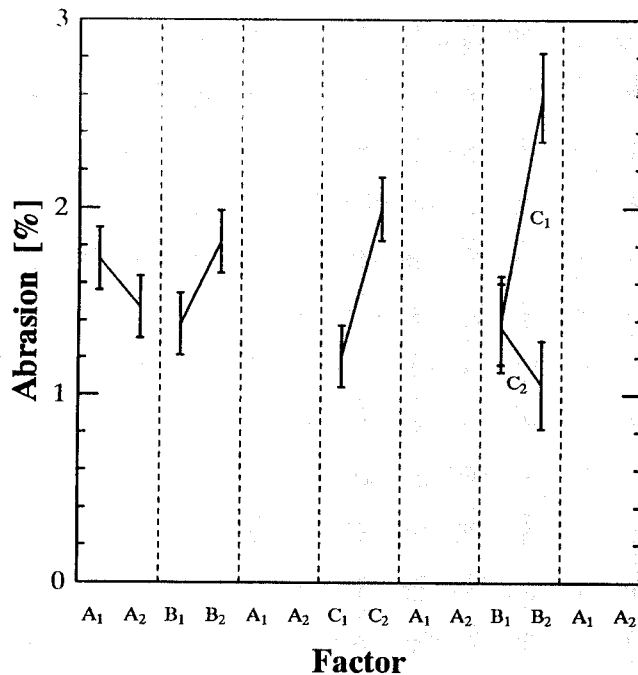


図-4 (2) 摩耗量に対する要因効果図 (材令 28日)

これらの効果図より、次のことが認められる。

- 1) セメントの種類による効果は、材令14日の場合と28日の場合とで逆転している。しかし、材令28日では、セメントの種類による摩耗量の差は、両者の信頼限界の幅が一部重なっており、有意であるとは言いがたい。
- 2) 配合比については、両材令ともに、1:3の場合の方が1:2の場合より摩耗量が多い。また、材令による違いはほとんど見られない。
- 3) 水セメント比については、両材令ともに、0.60の場合の方が0.50の場合より摩耗量が多い。前述の2要因に比べ、影響の度合が顕著であることも分かる。また、材令による違いはほとんど見られない。
- 4) セメントの種類と水セメント比との交互効果が有意な要因と認められたのは、材令14日の場合のみである。この時、セメントの種類にかかわらず水セメント比が0.50の場合の方が摩耗量は大きい。一方、セメントの種類による影響は、水セメント比により増減傾向が逆転することより、影響の度合は希薄であることが分かる。
- 5) 配合比と水セメント比との交互効果は、材令14,28日ともに有意な要因と認められ、とくに水セメント比が0.50の場合に比し0.60の場合の方が大きな摩耗量を示した。この場合も、材令による違いはほとんど認められない。

(2) 材令による摩耗量の変化

普通ポルトランドセメントと高炉B種を使用したそれぞれの場合について、配合比および水セメント比を各々2通りに変えた場合の材令と摩耗量との関係を図-5に示す。

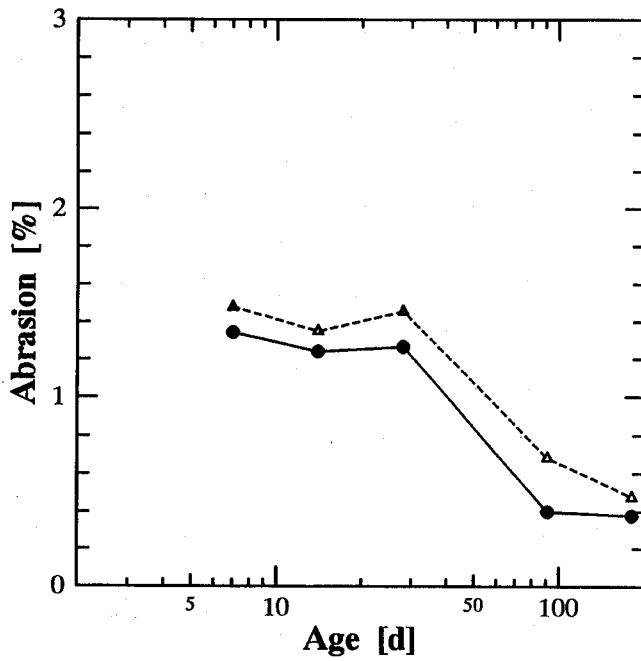


図-5 (1) 各要因による材令と摩耗量との関係 (配合比 1 : 2, 水セメント比0.50)
(実線 : 高炉セメントB種, 破線 : 普通ポルトランドセメント)

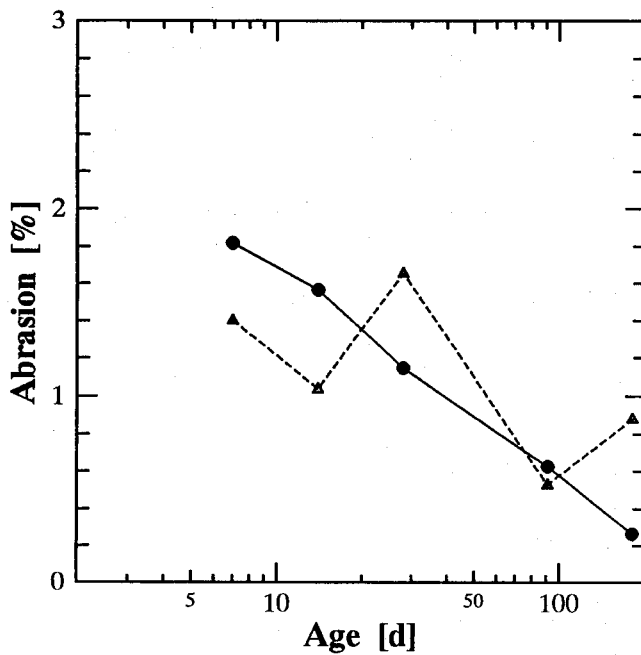


図-5 (2) 各要因による材令と摩耗量との関係 (配合比 1 : 2, 水セメント比0.60)
(実線 : 高炉セメントB種, 破線 : 普通ポルトランドセメント)

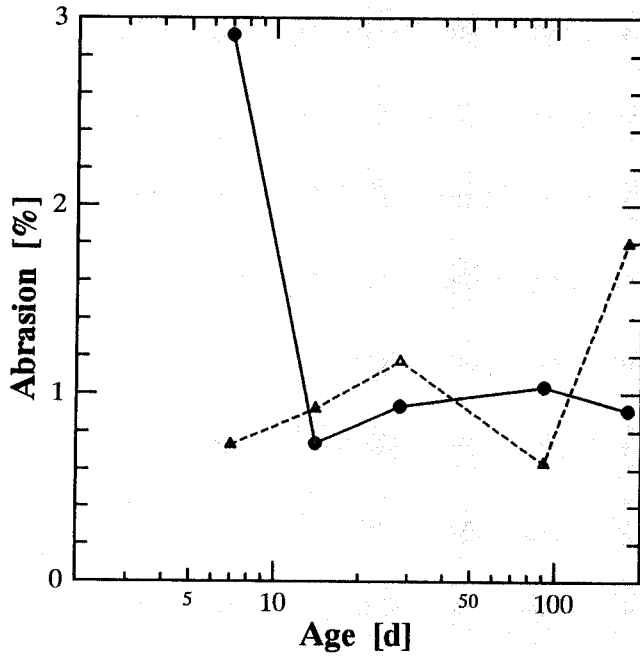


図-5 (3) 各要因による材令と摩耗量との関係 (配合比 1 : 3, 水セメント比0.50)
(実線: 高炉セメントB種, 破線: 普通ポルトランドセメント)

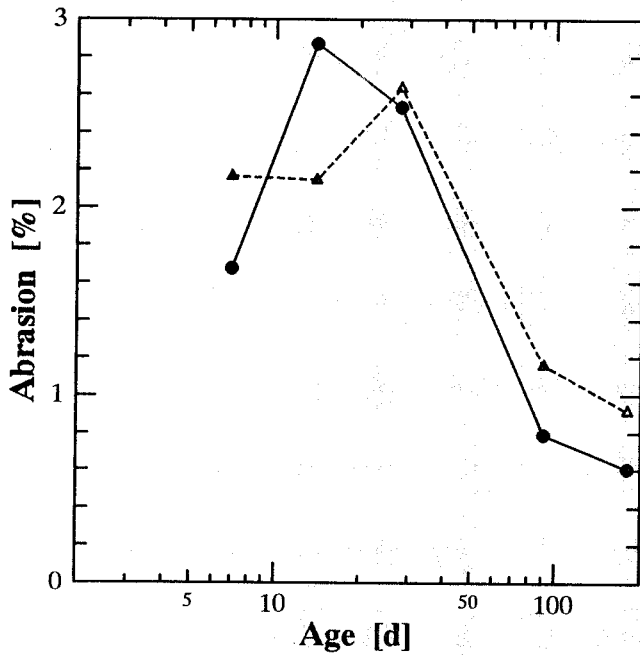


図-5 (4) 各要因による材令と摩耗量との関係 (配合比 1 : 3, 水セメント比0.60)
(実線: 高炉セメントB種, 破線: 普通ポルトランドセメント)

これらの図より、以下のことが認められる。

- 1) この実験の範囲内では、材令が進むにつれ摩耗量が単調に増加または減少するようなケースは少ないが、セメントの種類の違いが摩耗量に及ぼす影響との観点から概括すると、次のようになる。すなわち、初期材令では普通ポルトランドセメントを用いたモルタルの方が、また長期材令では高炉セメントB種を使用した場合の方が、摩耗量は幾分少なくなる傾向が認められよう。
- 2) 配合比や水セメント比の違いにより、材令とともに摩耗量が増加する様相の違いは、容易には認められがたい。

(3) 各要因による摩耗量の変化

1) セメントの種類

7,14,28,91および180日の各材令における、高炉セメントB種を使用した場合の平均摩耗量と普通ポルトランドセメントを使用した場合のそれとの比は、それぞれ174.2,114.2,83.1,102.1,56.4%となり、ほぼ材令が進むにつれ値が低下する傾向にある。

これから、耐摩耗性は、材令14日までは普通ポルトランドセメントの方が優れているが、28日以降では高炉セメントB種を用いた場合の方が優れていることが分かる。

2) 配合比

7,14,28および91日の各材令における、配合比1:3の場合の平均摩耗量を、配合比1:2の場合のそれに対する比で表すと、それぞれ128.3,129.5,133.7,174.5,238.5%であり、材令が進むにつれその値は大きくなった。

これから、すべての材令において配合比1:2のモルタルの方が、耐摩耗性に関して優れていることが分かる。

3) 水セメント比

7,14,28,91および180日の各材令における、水セメント比が0.50の場合の平均摩耗量に対する水セメント比と0.60の場合のそれとの比は、それぞれ145.9,205.8,175.0,123.1,93.0%であり、材令が進むにつれほぼその値は低下した。

これから、材令91日までは水セメント比が0.50の場合の方が耐摩耗性に優れているが、180日では水セメント比0.60の方が優れていることが分かる。

5. 強度と摩耗量の相関性

前項までに示したとおり、全般的に圧縮強度は材令とともに増加するが、摩耗量は減少する傾向が認められ、これより、圧縮強度と摩耗量の間には負の相関性があるものと予想される。

これまで、強度として圧縮強度のみを取り上げてきたが、この相関関係をより明確にするために、ここでは曲げ強度および圧縮強度と摩耗量との関係について考察することとする。

セメントの種類、配合比、水セメント比および材令を組み合わせた全ての実験ケースについて、曲げ強度と摩耗量の関係および圧縮強度と摩耗量との関係を図-6に示す。

両者ともに、強度が大きくなるにつれ摩耗量は少なくなる傾向が認められる。これらの相関係数は、曲げ強度と摩耗量の間では -0.575、圧縮強度と摩耗量の間では -0.622 となり、ともに、やや弱い負の相関関係のあることが分かった。

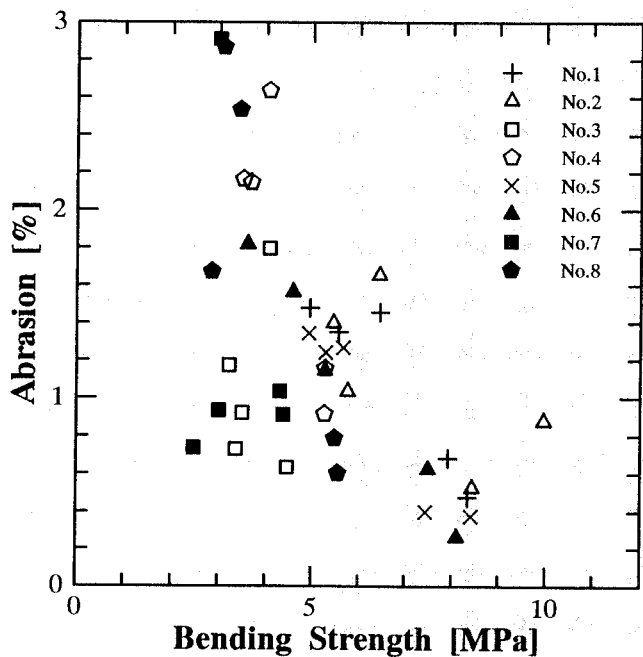


図-6 (1) 曲げおよび圧縮強度と摩耗量との関係 (曲げ強度と摩耗量との関係)

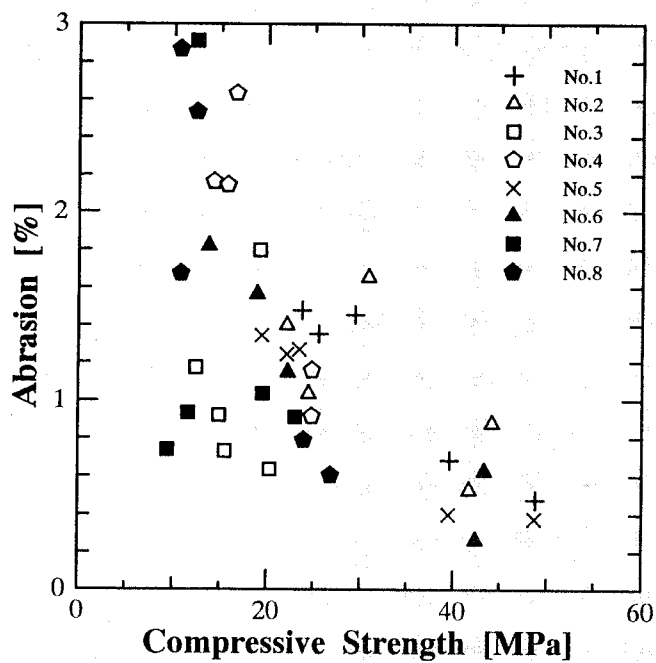


図-6 (2) 曲げおよび圧縮強度と摩耗量との関係 (圧縮強度と摩耗量との関係)

IV. 結 言

実験計画法に基づき、セメントの種類として普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種、配合比として1:2と1:3、水セメント比として0.50と0.60の3因子各2水準をとり、L₆の直交表に割付け、材令3,7,14,28,91および180日のモルタルの強度試験、および材令7,14,28,91および180日のモルタルのすりみがき作用による摩耗量の比較検討を行い、高炉セメントB種を使用したモルタルの強度および耐摩耗性を調べた。

その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 本実験に関しては、曲げ強度、圧縮強度ともに、最も寄与率の大きな要因は配合比であり、それはほぼ材令とともに増大する。セメントの種類が強度に及ぼす寄与率は、材令の初期において若干認められるが、長期になると認められなくなる。また、水セメント比の寄与率は、材令の如何にかかわらず極めて低い。
- 2) 材令3日から28日における圧縮強度は、普通ポルトランドセメントの方が高炉セメントB種に比べやや大きい。
- 3) 全材令において、配合比1:2の場合の方が1:3の場合より大きな強度を示し、その強度差は、総じて材令が進むにつれ増大する。
- 4) 水セメント比については、セメントの種類や配合比ほど圧縮強度に対して顕著な影響は及ぼさない。
- 5) 摩耗量に対する寄与率は、水セメント比が最大の要因となる。セメントの種類および配合比による寄与率は、材令とともにほぼ増大する傾向がある。
- 6) 摩耗量に対する要因分析からは、危険率5%以下で有意なケースは材令が14日と28日の場合にしか含まれないことが分かった。
- 7) 材令14,28日の場合ともに、他の2要因に比べ、水セメント比の影響の度合いが顕著であり、0.60の場合の方が0.50の場合より摩耗量が多い。また、材令による違いはほとんど見られない。
- 8) 曲げ強度と摩耗量および圧縮強度と摩耗量との間の相関係数は、それぞれ -0.575 および -0.622 となり、いずれも、やや弱い負の相関関係がある。

以上の結果から、高炉セメントB種を使用したモルタルの強度および耐摩耗性は、普通ポルトランドセメントの場合と比較して、初期材令では劣るが、長期材令になると同程度以上になるといえる。よって、耐化学薬品性に優れた高炉セメントB種を使用して下水道などの水利構造物を築造することは、強度および耐摩耗性の点から見て問題はないものと考えられる。

引用文献

- 1) 中崎昭人・篠和夫:フライアッシュセメントB種を使用したモルタルの強度と耐摩耗性, 農土誌,58 (2),pp.65-70(1990).

平成9(1997)年9月30日受理

平成9(1997)年12月25日発行

