

論文

[1043] コンクリートの衝撃摩耗におよぼす乾湿条件および衝撃角度について

正会員 小柳 治 (岐阜大学工学部)

正会員 六郷恵哲 (岐阜大学工学部)

正会員 ○ 齊藤保則 (岐阜大学大学院)

1. まえがき

本研究はコンクリートの衝撃摩耗特性を機構的に解明する目的で、鋼球落下方式による衝撃摩耗試験機を用いて、コンクリート表面が乾燥状態または湿潤状態においてコンクリート強度を変化させることに加え、鋼球が供試体に与える衝撃エネルギーを変化させる目的で、鋼球落下高さならびに供試体衝撃角度をも変化させて試験を行い、おのおのの条件下においてコンクリートの衝撃摩耗特性に及ぼす各種要因の影響を実験的に明らかにすることを目的とするものである。

2. 実験概要

衝撃摩耗試験は、図-1に示すような鋼球落下方式による衝撃摩耗試験機によって行った。鋼球は直径51mm、重さ536gのものを使用した。なお、鋼球は6秒間隔で自動的に落下するようになっている。供試体の目標圧縮強度は、 200 kgf/cm^2 および 800 kgf/cm^2 (以下N2、N8と記す)の2種類のプレーンコンクリートとした。表-1にコンクリートの示方配合及びフレッシュコンクリートの諸試験値を示す。さらに表-2に硬化コンクリートの各種強度試験の結果を示す。供試体は打設後20日間恒温室内で湿布養生し、その後は気乾養生として材令28日以上で実験を実施した。供試体の寸法は $15 \times 15 \times 20 \text{ cm}$ の角柱供試体とした。コンクリートの表面状態は乾燥状態および湿潤状態として、供試体衝撃角度は 10° 、 20° 、 30° の3種類、鋼球落下高さは50cm、100cmの2種類とした。以上の各種条件の組み合わせを用いて全部で24種類の試験を行った。試験は供試体の両側面を用い1種類の試験に対して2体用意し、合計4個の測定を行った。衝撃摩耗体積の測定は、鋼球落下高さが50cmの場合は衝撃回数を400回まで行い100回毎に、100cmの場合は衝撃回数を200回まで行い50回毎に摩耗体積を測定した。摩耗体積の測定方法は供試体の摩耗を生じた断面に詰めた油粘土の体積を測定することによった。なお、湿潤状態での試験では試験日1週間前より供試体を水中に浸漬し、試験中も供試体表面が乾くことのない程度に常時水を流しながら行った。

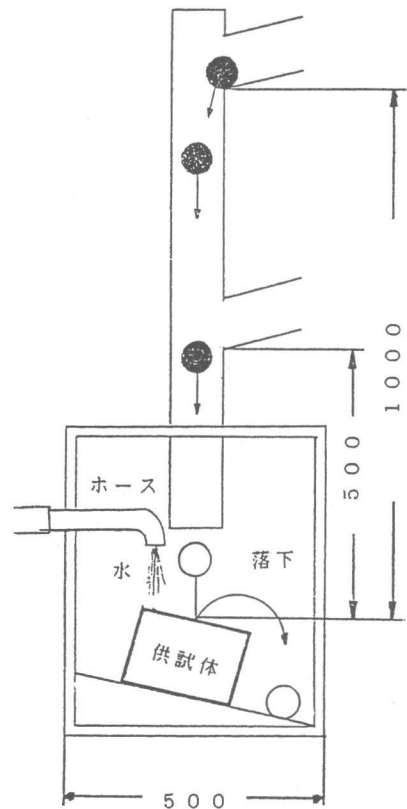


図-1 衝撃摩耗試験機の概略図

表-1 コンクリートの示方配合及びフレッシュコンクリートの諸試験値

供試体 No.	粗骨材 最大寸 法(mm)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					スラフ (cm)	空気 量 (%)	温度 (°C)
				W	C	S	G	減水剤			
N 2	10	70	50	185	264	937	937	—	3.5	2.0	24.0
N 8	10	30	45	157	525	792	966	13.13	19.5	1.6	25.0

注) セメント:早強ポルトランドセメント, 減水剤:PZ-4000,
細骨材:川砂, 比重 2.60, F.M 2.98 粗骨材:玉碎石, 比重 2.64, F.M 6.61

3. 結果と考察

本研究は衝撃によるコンクリートの摩耗現象を調べるため、供試体衝撃角度ならびに鋼球落下高さを変化させ、供試体表面状態を乾燥状態および湿潤状態において試験を行った。以下に本研究の結果と考察を各要因別に述べる。

表-2 硬化コンクリートの各種強度試験結果

供試体種類 (シリーズNo.)	コンクリートの 表面状態	圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
N 2	乾 燥	359	54.5	38.4
	湿 潤	244	45.6	30.2
N 8	乾 燥	816	67.7	46.0
	湿 潤	704	106.0	60.0

(a) 表面状態ならびにコンクリート強度が摩耗特性に及ぼす影響

コンクリート表面の乾湿の状態が変化することによって、同じ衝撃エネルギーにおけるコンクリートの摩耗現象は変わってくる。ここで供試体の乾燥状態および湿潤状態における摩耗の相違および各種条件との関係を検討した。表-3に各種条件下における各エネルギーレベルでの摩耗体積および摩耗体積の乾湿比(乾燥状態を1とする)を示す。ここでのエネルギーレベルとは、1回の衝撃において鋼球のもつ位置エネルギーに衝撃回数をかけあわせたもので10 (m・回)の単位であり、鋼球落下高さ100 cmで衝撃回数50回または鋼球落下高さ50 cmで衝撃回数100回での段階を同一エネルギーレベルとし、レベル5と表した。以下同様にレベルを設定し、鋼球落下高さ100 cm

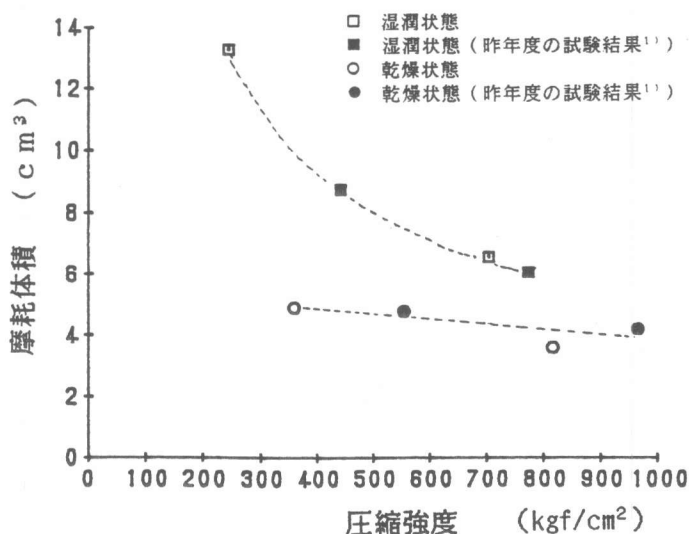


図-2 摩耗体積と圧縮強度の関係

表-3 各種条件下における摩耗体積及び摩耗体積の乾湿比

各種条件 \ エネルギー				レベル 5		レベル 10		レベル 15		レベル 20	
種 類	高 さ	角 度	状 態	摩耗量	乾湿比	摩耗量	乾湿比	摩耗量	乾湿比	摩耗量	乾湿比
N2	50 cm	10°	乾 燥	0.9	4.11	1.8	4.06	2.8	3.46	3.9	3.18
			湿 潤	3.7		7.3		9.7		12.4	
		20°	乾 燥	0.5	6.00	1.6	3.56	2.5	3.36	3.7	3.08
			湿 潤	3.0		5.7		8.4		11.4	
		30°	乾 燥	0.6	4.50	1.5	2.87	2.4	2.75	3.2	2.75
			湿 潤	2.7		4.3		6.6		8.8	
	100 cm	10°	乾 燥	0.8	4.75	2.3	2.83	4.3	2.77	5.5	2.89
			湿 潤	3.8		6.5		11.9		15.9	
		20°	乾 燥	0.7	4.14	2.0	3.10	3.5	2.77	4.9	2.71
			湿 潤	2.9		6.2		9.7		13.3	
		30°	乾 燥	0.7	4.00	2.1	3.24	3.0	3.27	4.0	2.98
			湿 潤	2.8		6.8		9.8		11.9	
N8	50 cm	10°	乾 燥	0.7	2.14	1.5	2.00	2.5	1.80	3.2	1.72
			湿 潤	1.5		3.0		4.5		5.5	
		20°	乾 燥	0.8	1.50	1.6	1.38	2.2	1.59	2.8	1.57
			湿 潤	1.2		2.2		3.5		4.4	
		30°	乾 燥	0.5	2.00	1.0	2.00	1.4	2.07	1.8	2.11
			湿 潤	1.0		2.0		2.9		3.8	
	100 cm	10°	乾 燥	0.7	2.71	1.7	2.18	2.9	1.86	3.9	1.87
			湿 潤	1.9		3.7		5.4		7.3	
		20°	乾 燥	0.8	2.38	1.6	2.19	2.8	1.79	3.6	1.83
			湿 潤	1.9		3.5		5.0		6.6	
		30°	乾 燥	0.7	2.00	1.6	1.56	2.3	1.65	3.2	1.63
			湿 潤	1.4		2.5		3.8		5.2	

※注) 種類: 供試体強度種類、高さ: 鋼球落下高さ (cm)、角度: 供試体衝撃角度、状態: 供試体表面状態
 レベル: エネルギーレベル、摩耗量: 衝撃摩耗体積 (cm³)
 乾湿比: 乾燥状態での摩耗体積に対する湿潤状態の摩耗体積の比率

で衝撃回数 200回または鋼球落下高さ50cmで衝撃回数 400回をエネルギーレベル20とした。摩耗体積の乾湿比は、同一強度のコンクリートでは供試体衝撃角度や鋼球落下高さ及び衝撃回数にはかわらずほぼ一定の値となった。しかしコンクリート強度による影響は大であった。摩耗体積の乾湿比はN2のシリーズでは3倍前後、N8では1.5～2倍程度の割合となり強度の違いによって摩耗体積の乾湿比には差がある。ここでコンクリートの圧縮強度と摩耗体積の関係および供試体表面状態の影響を検討する。図-2に鋼球落下高さ100cm、供試体衝撃角度20°、衝撃

回数 200回での摩耗体積と圧縮強度の関係を示す。なお、この図には昨年度の試験結果¹⁾もあわせて示した。乾燥状態では圧縮強度の増加に対する摩耗体積の減少は大きくは変わらない。湿潤状態においては摩耗体積は圧縮強度が大きくなるにつれて下に凸な曲線を描く。これは湿潤状態にあるときは特にコンクリート組織とコンクリート内の間隙水圧が衝撃的な摩耗破壊と関係することにより、乾湿条件下での強度の影響が異なったものと考えられる。

(b) 供試体衝撃角度の相異が摩耗特性に及ぼす影響

コンクリートの摩耗現象は表面に平行に力が作用するものと鉛直に力が作用するものが複雑に組み合わされ生ずる表面の破壊現象であると考えられる¹⁾。そこで、供試体衝撃角度すなわち力の作用方向を変えた衝撃摩耗試験を行い、摩耗体積の違いの比較から衝撃摩耗現象を検討した。図-3にエネルギーレベル20での供試体衝撃角度と摩耗体積の関係を示す。供試体衝撃角度が増加することによって摩耗体積が減少していく。ここでさらに図-4にエネルギーレベル20での供試体衝撃角度 20° を基準(1)とした 10° 、 30° の摩耗体積の体積比を示す。供試体衝撃角度 20° を基準(1)とした 10° 、 30° の摩耗体積比はそれぞれ平均1.13、0.81となった。また図中にも示してあるが、 $(\cos 10^\circ / \cos 20^\circ)^2 = 1.10$ および $(\cos 30^\circ / \cos 20^\circ)^2 = 0.85$ は、上記の比率とほぼ等しい値となる。つまり供試体の鉛直方向に働く作用力の比率の2乗にほぼ等しい。実際の供試体破壊面は破壊が進行することによって複雑になっていくため、実際の入力角度は供試体角度とは必ずしも一致しないが、このことを利用することによりある角度での摩耗体積から他の衝撃角度の摩耗を概略的に求めることができるならば、材料特性としての衝撃摩耗を求める上では衝撃角度を一つに固定しても差し支えないものとする。

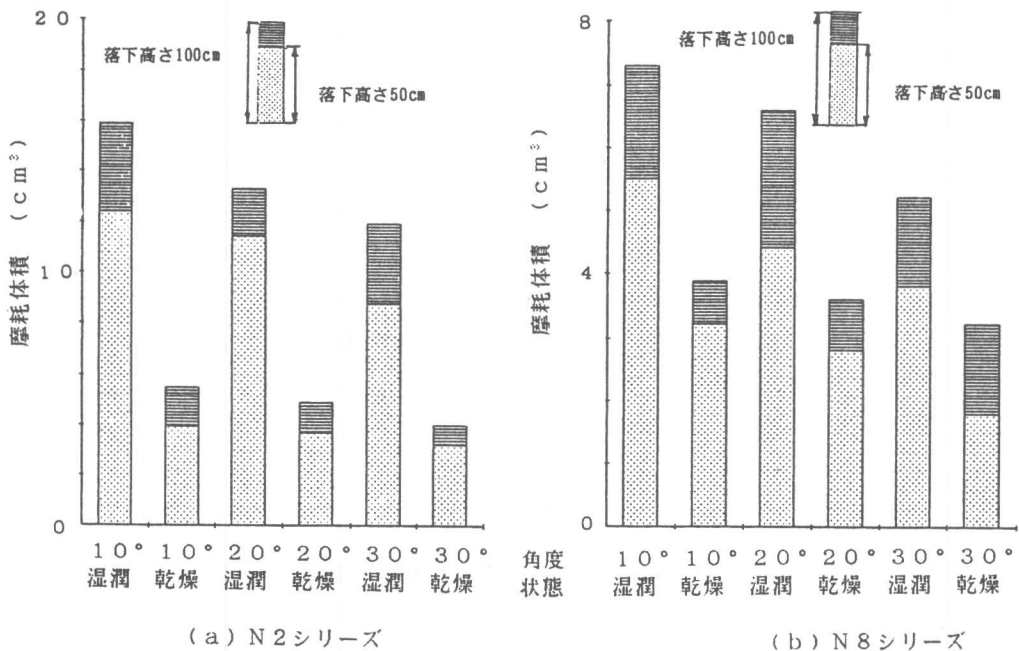


図-3 供試体衝撃角度と摩耗体積の関係 (エネルギーレベル20)

加えたエネルギーと摩耗体積との関係のうちN2のシリーズを図-5に、N8のシリーズを図-6にそれぞれ示す。まずこれらの図より摩耗体積とエネルギーレベルとはほぼ比例的な関係にある。このことは初期摩耗が摩耗特性に与える影響は大きくないものと考えられる。衝撃角度や

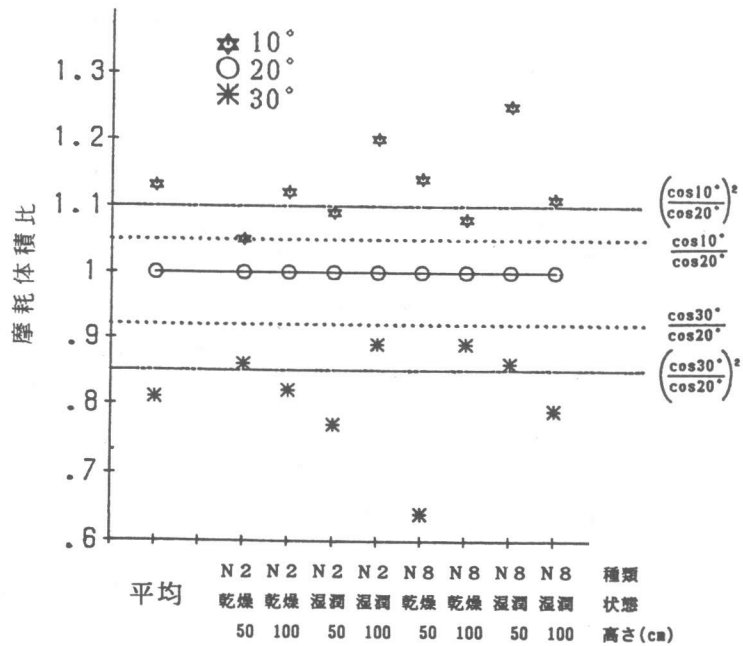


図-4 供試体衝撃角度と摩耗体積比の関係（衝撃角度 20° を1とした）

コンクリート強度が変わっても同一エネルギーレベルの場合は、鋼球落下高さが 100cmの方が50cmに比べ摩耗体積が大である。また鋼球落下高さ 100cmと50cmとの同一エネルギーレベルでの摩耗体積の体積比(鋼球落下高さ 100cmを基準1とする)は、1.2~1.5倍程度となり、鋼球落下高さの平方根の比(本実験では1.41)にほぼ等しい値となった。つまり加わるエネルギー

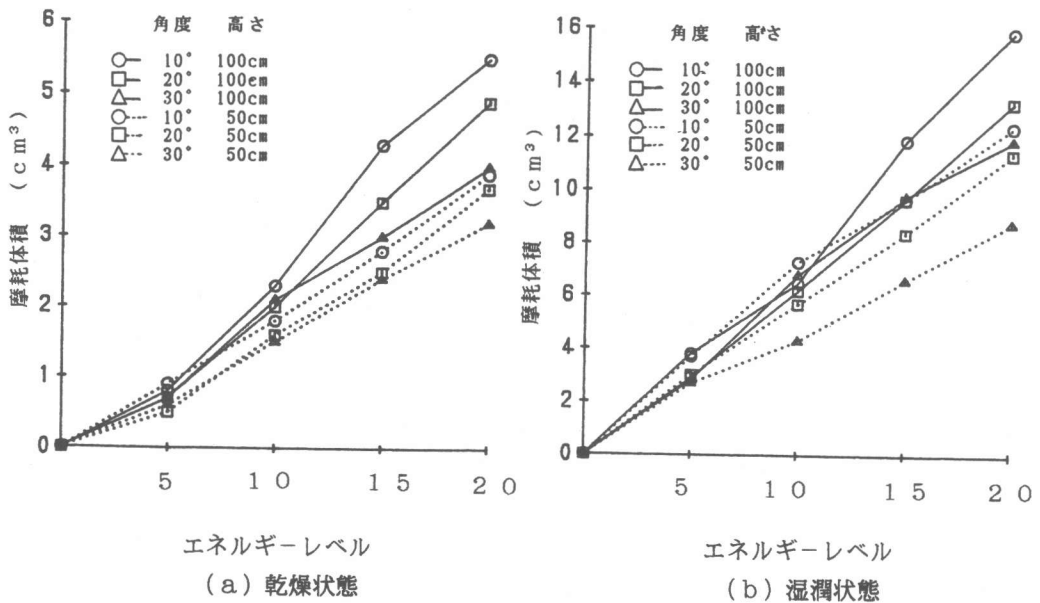
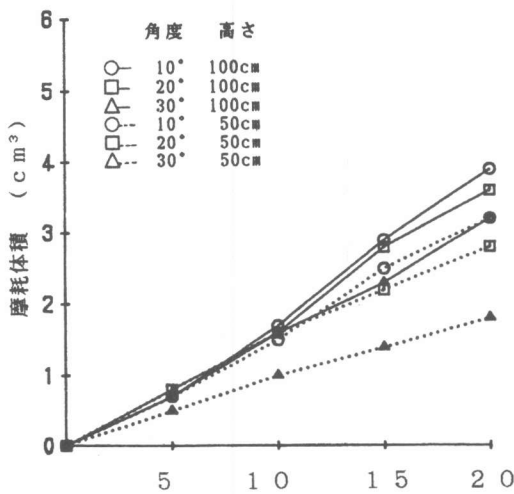
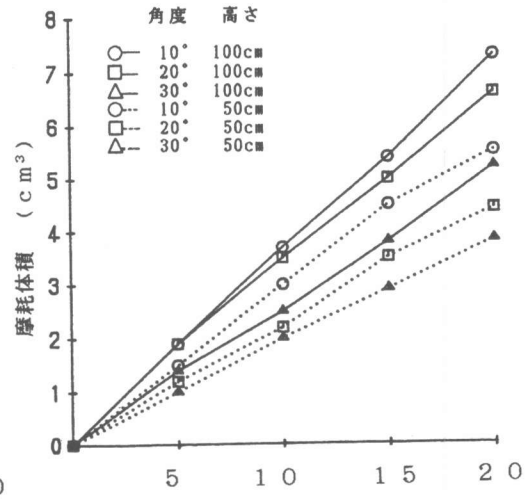


図-5 加えたエネルギーと摩耗体積の関係 (N2シリーズ)



エネルギーレベル

(a) 乾燥状態



エネルギーレベル

(b) 湿潤状態

図-6 加えたエネルギーと摩耗体積の関係 (N8シリーズ)

ーレベルが同一である場合には、1回の衝撃が大きいものほどコンクリートの摩耗は大きい。言い換えれば、1回の衝撃エネルギーが小さいものであれば、加わる全エネルギーが等しくてもコンクリートの抵抗性は大きいものとなる。

4. まとめ

本研究はコンクリートの表面状態や強度、供試体衝撃角度および鋼球落下高さをそれぞれ変化させ、各種要因が衝撃摩耗に与える影響を調べた。以下に本研究で得られた結果をまとめる。

(1) コンクリートの圧縮強度と摩耗体積の関係は、乾燥状態では圧縮強度が増加してもあまり摩耗体積は変わらないが、湿潤状態では圧縮強度が小さくなるとともに摩耗体積は飛躍的に大きくなり、圧縮強度が増加するにつれて下に凸な曲線を描いて摩耗体積は小さくなる。

(2) 供試体衝撃角度と摩耗体積の関係は、供試体の鉛直方向に働く作用力の比率の2乗にほぼ等しかった。これよりある衝撃角度での摩耗体積から他の衝撃角度の摩耗を概略的に求めることができると思われる。

(3) 摩耗体積とエネルギーレベルの関係は初期の段階よりほぼ比例的関係にあった。

(4) 鋼球落下高さの違いによる摩耗体積の違いは、コンクリートに加わる全エネルギーが等しい場合、鋼球が持つ1回の衝撃エネルギーが大きいほどコンクリートの摩耗は大きい。

〈謝辞〉 本研究の実施にあたり協力を受けた卒研生（現名工建設 株）の鶴瀬由規彦君に謝意を表す。

〈参考文献〉

1) 小柳、六郷、河合、近藤：コンクリートの耐衝撃摩耗特性に及ぼす各種要因の影響、コンクリート工学年次論文報告集、第10巻 第2号、1988、pp.463～468