

繰り返し衝撃を受けるコンクリートの表面損傷に及ぼす衝撃荷重条件の影響

防衛大学校 ○黒田 一郎, 堀口 俊行, 森山 洋平

1. はじめに

コンクリートダムの水吐や砂防ダムにおいては、越流状態において水流に混入した礫の繰り返し衝突が生起し、その際、礫衝突による衝撃と擦過に起因する衝撃疲労損傷が生じる。その対策のための検討として、重錘の繰り返し落下衝突によるコンクリートの損傷に着目した研究^{1,2)}が行われてきた。ここでは、隅角を持たない鋼球を重錘として使用しているため、実現象で衝突する礫の形状の効果を充分に加味したものではなかった。そこで、本研究は、球形の重錘と、隅角を有する重錘を使用した繰り返し落下衝突実験を行い、表面の損傷におよぼす重錘形状の効果をについて検討するものである。

2. 実験の概要

繰り返し落下衝突実験は、床上に固定したコンクリート供試体の表面の一定の範囲に、所定の高さから鋼製の重錘を400回に至るまで繰り返し落下衝突させる方法で行なった。重錘の落下範囲と落下高さを制御するために、供試体の上方に設置した170mm×180mmの内寸を持つ矩形断面の鉛直筒を通して、重錘を一つずつ手で落下させた。

供試体は、早強ポルトランドセメントを用いた水セメント比60%の無筋コンクリートである。その寸法は300×300×350mmの直方体ブロックと、それに傾斜45度の斜面を設けた供試体の2種類である。供試体は打設後21日間湿布養生した後に気中乾燥させ、材令28日以上で実験に供した。

重錘は、形状は立方八面体K、球体Rの2種類、質量はL(約6.5kg)、S(約2.8kg)の2種類、都合2×2の4種類使用した。ここで、立方八面体とは、立方体の8つの頂点を切り落とした立体であり、正三角形8つとそれと同じ辺長(質量Lで71mm, 質量Sで53mm)の正方形6つで構成される準正多面体である。

図-1に、立方八面体の重錘の写真を示す。

以上の各種条件を組み合わせ、表-1に示す全部で8種類の実験シリーズを行った。供試体の数は各実験シリーズ毎に3体である。実験シリーズ名の最初の記号は、重錘の衝突を受けるコンクリート表面(打撃面)の傾斜角(G45は45度の斜面, G0は水平)、2番目の記号は重錘質量LまたはS、3番目は落下高さでHi(1.2m)またはLo(0.6m)、最後の4番目は重錘形状で、立方八面体Kまたは球体Rを表わす。

繰り返し落下衝突は、全ての供試体で400回まで行ない、50, 100, 200, 400回衝突させた段階で、損傷して生じたクレータの体積(損失体積V)を測定した。損失体積Vの測定は、打撃面を予め一辺20mmの正方形メッシュに分割し、その全ての格子点におけるクレータの深さをノギスで測定した上で、数値積分法の一つである点高法によって算出した。

3. 実験結果

図-2に、衝突回数Nと損失体積Vの関係を示す。ここで、図中の四角形のマーカ(□)は立方八面体K、円形のマーカ(○)は球体Rを表わす。

全ケースの実験結果において衝突回数Nと損失体積Vの関係はほぼ右上がりの直線になっており、衝突回数Nに比例して損失体積Vが一定の割合で増加していることが分かる。

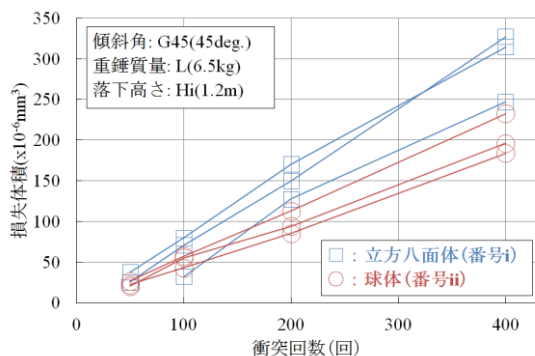


図-1 立方八面体重錘

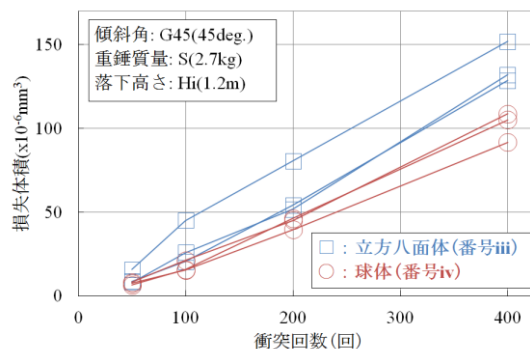
表-1 供試体シリーズ

番号	供試体 シリーズ名	供試体 個数	打撃面 傾斜角 G (deg.)	重錘 質量 m (kg)	落下 高さ h (m)	重錘 形状*	400回衝突 時の損失 体積 V_{400} ($\times 10^3 \text{ mm}^3$)	400回衝突 時の累積 エネルギー E_{400} (kJ)	単位 エネルギー 損失体積 V_U (mm^3/J)	隅角 効果比 ρ
i	G45-L-Hi-K	各3体	45	6.50	1.2	K	296	30.6	9.69	1.50
ii	G45-L-Hi-R			6.71		R	204	31.5	6.47	
iii	G45-S-Hi-K			2.74		K	137	12.9	10.66	1.39
iv	G45-S-Hi-R			2.82		R	102	13.3	7.67	
v	G45-S-Lo-K		0.6	2.74	0.6	K	54	6.4	8.40	1.92
vi	G45-S-Lo-R			2.82		R	29	6.6	4.38	
vii	G0-S-Hi-K		0 (水平)	2.74	1.2	K	157	12.9	12.15	1.55
viii	G0-S-Hi-R			2.82		R	104	13.3	7.83	

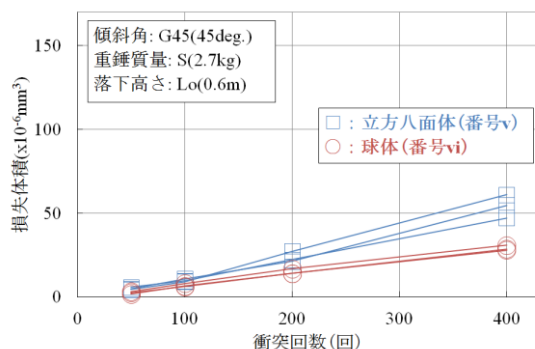
* 記号Kは立方八面体, Rは球体を表わす



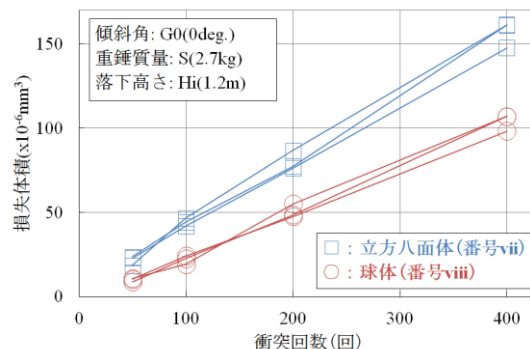
(a) 傾斜角45度, 重錘質量L, 落下高さHi



(b) 傾斜角45度, 重錘質量S, 落下高さHi



(c) 傾斜角45度, 重錘質量S, 落下高さLo



(d) 傾斜角0度, 重錘質量S, 落下高さHi

図-2 衝突回数と損失体積の関係

図-2は、打撃面傾斜角、重錘質量、落下高さの各条件を揃えた上で立方八面体Kと球体Rを比較しているが、いずれの条件においても、立方八面体Kの方が大きな損失体積 V を示している。そこで、次の式で示すように、400回衝突時の損失体積 V_{400} を、それまでの重錘の累計された運動エネルギー(累積エネルギー E_{400})で割った数値を、単位エネルギー損失体積 V_U と定義し、表-1に併記する。

$$V_U = V_{400} / E_{400}$$

上述のように、重錘形状以外の条件が同一の場合には、立方八面体Kの方が損失体積 V が大きいので、立方八面体Kの単位エネルギー損失体積 V_U を球体Rのそれで割った値を、損傷に与える隅角の効果を表わすものとして新たに隅角効果比 ρ と定義し、表-1に追加して示す。隅角効果比 ρ は、概ね1.4~1.9の範囲であり、重錘質量と落下高さが小さくて、衝突1回あたりの重錘の運動エネルギーが小さいケース(番号vとvi)で最も大きな値1.92となっている。

また、前述の単位エネルギー損失体積 V_U に着目すると、打撃面傾斜角が同じ45度で、立方八面体Kの3つのケース(番号i, iii, v)を比較すると、単位エネルギー損失体積 V_U の値には格差があり、同じ落下高さなら重錘質量が小さい方が(iよりもiiiが)、同じ重錘質量なら落下高さが大きい方が(vよりもiiiが)、 V_U の値は大きくなる傾向があり、重錘質量や落下高さが一定でない場合には単純にエネルギー量だけで損失体積を評価できないことがわかる。そして、球体Rの3ケース(ii, iv, vi)も

同じ傾向を示している。

次に、打撃面傾斜角が単位エネルギー損失体積に与える影響を考察する。立法八面体では番号iiiとviiの比較が、重錘質量と落下高さが同じで打撃面傾斜角だけが異なるケースの比較であり、球体Rでは、番号ivとviiiの比較がそれに当たる。水平面への衝突での単位エネルギー損失体積は、傾斜面に比べて、立方八面体Kでは14%、球体Rでは僅かに2%しか上回っておらず、本実験では打撃面傾斜角が単位エネルギー損失体積に及ぼす影響は小さかった。

4. まとめ

- (1) 荷重条件に関わらず、衝突回数 N と損失体積 V は比例する。
- (2) 隅角を有する立法八面体の重錘では、球体の重錘と比べて単位エネルギー当たりの損失体積が1.4~1.9倍程度となる。
- (3) 重錘質量や落下高さが異なる場合には、重錘のエネルギー量だけで損失体積を評価できない。
- (4) 打撃面傾斜角の影響は小さかった。

参考文献

- 1) 小柳 裕, 六郷 恵哲, 斎藤 保則: 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, コンクリート工学年次論文報告書, Vol.11, No.1, 1989
- 2) 豊福 俊泰, 宮川 邦彦, 豊福 俊英: コンクリートの衝撃摩耗特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.835-840, 1998