

繰り返し衝撃力によるコンクリート表層、隅角部の損傷に関する基礎実験

防衛大学校 ○黒田 一郎, 堀口 俊行, 香月 智

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する。その際、礫衝突による擦過と思われる摩耗が生じ、その対策の検討がなされている¹⁾。和泉ら²⁾は、繰り返して作用する衝撃力によるダメージの蓄積がコンクリートの損食に及ぼす影響についての研究を行っている。そこでは基礎的段階として平面への礫衝突を前提としたものであり、現場で生起している摩耗とは異なる現象であった。そこで、本研究は周期的に重錐を落下衝突させる装置を用いて、無筋コンクリートブロック供試体の隅角部に対する繰り返し衝撃（衝撃疲労）実験を行い、コンクリート隅角部の損傷性状について調べたものである。

2. 実験の概要

実験で使用した供試体は、水セメント比40%, 45%, 60%の無筋コンクリートの立方体ブロックであり、一片の長さはW/C40%で450mm, W/C45%とW/C60%で300mmである。コンクリート強度は、W/C40%で64.1N/mm², 45%で49.7N/mm², 60%で35.5N/mm²であった。重錐は重量10.6kg、先端の曲率80mmの鋼製である。重錐は遊星カム機構による連続落下装置によって15s間隔でコンクリート供試体上面に繰り返し落下衝突される。重錐の衝突位置を常に定まった位置に制御するために重錐固定用ガイドを設けた（図-1参照）。

本実験は面への落下衝撃ではなく、隅角部への衝撃の影響を調べることを目的とし、CASE1～CASE3の3種類の載荷方

法にて実験を行った。CASE1は、重錐衝突位置を辺からの離隔距離20mmとして開始（これをPHASE1とする）、剥離が生じたならばそれ以降PHASE2、PHASE3として離隔距離を20mmずつ増して載荷を続けた。CASE2では、PHASE1の離隔距離を40mmとして、CASE3では60mmとした。それぞれ供試体の名称および実験ケースを表-1に示す。

剥離によって失われた体積、剥離堆積 V_E は点高法によって測定した。これは、供試体の側面に予め20mmのメッシュを描いておき、剥離によってコンクリートが失われた際に、メッシュの各交点において、破断面までの法線方向の剥離深さをノギスによって測定し、剥離堆積 V_E は、各交点での剥離深さを数値積分することによって算出するものである。

3. 実験結果

CASE1ではPHASE1で必ず割裂による剥離が生じPHASE2へと移行した。PHASE2において全7種類の供試体のうち6種類で剥離現象が生起した。PHASE3へと移行した後の剥離はどの供試体でも見受けられなかった。また、剥離部の形状に対して水セメント比による顕著な差異は見られなかった。

CASE2のPHASE1では、CASE1のPHASE1よりも剥離が生ずるまでに多くの衝突を要した。更に剥離によって失われた体積（剥離体積 V_E ）も大きくなつた。その後PHASE2（離隔距離60mm）へ移行させたが、剥離は生じなかつた。また、CASE3では剥離が生起した供試体と生起しなかつた供試体に分かれた。また、剥離にかかる衝突回数もCASE1やCASE2よりも多くなり、剥離体積も大きくなつた。

表-1 実験ケースの一覧

供試体の名称	W/C (%)	実験ケース	衝突回数 N （回）			累積重錐エネルギー SE （J）			剥離体積 V_E （cm ³ ）		
			Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.1	Ph.2	Ph.3
40%供試体1	40	CASE1	2	46	181	91	225	—	33	225	—
40%供試体2	40	CASE1	4	35	150	183	1600	—	24	268	—
45%供試体1	45	CASE1	8	21	129	366	960	—	121	152	—
45%供試体2	45	CASE1	10	49	149	457	2240	—	103	122	—
60%供試体1	60	CASE1	5	28	80	229	178	—	42	178	—
60%供試体2	60	CASE1	15	50	—	686	—	—	123	—	—
60%供試体3	60	CASE1	5	15	100	229	686	—	26	62	—
60%供試体4	60	CASE2	23	—	—	1051	—	—	198	—	—
60%供試体5	60	CASE3	112	—	—	5119	—	—	261	—	—
60%供試体6	60	CASE2	46	246	—	2013	—	—	324	—	—
60%供試体7	60	CASE3	400	—	—	—	—	—	—	—	—

Ph.1: PHASE1, Ph.2: PHASE2, Ph.3: PHASE3

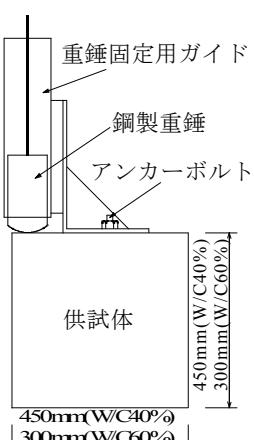


図-1 供試体と重錐固定用ガイド

いずれのCASEにおいても、離隔距離を大きくしていくと、衝突を繰り返してもそれ以上剥離が生じずに衝突位置の供試体上面にてコンクリートの粉碎による陥没が成長するのみの状態となった。その状態に至ったら載荷を終了し、粉碎による陥没の体積(粉碎堆積 V_p)を粘土の充填によって測定した。

表-1に剥離に至るまでの重錘の運動エネルギーの累積値(以下、累積重錘エネルギー ΣE)と剥離体積 V_E を併せて示す。また、両者の関係を図-2よりに示す。粉碎が生じなかつた場合(図-2での塗りつぶしマーカー $\diamond\bullet\triangle$)では、累積重錘エネルギー ΣE が増加すると、それにほぼ比例して剥離体積 V_E が増加することが認められる。しかし、粉碎が生じた場合(白抜きマーカー $\diamond\triangle\triangle$)は、累積重錘エネルギー ΣE と剥離堆積 V_E は比例関係を示していない。

そこで、粉碎が生じた場合においても、累積重錘エネルギーと損傷の関係を簡単なモデルで表現するために重回帰分析によるモデル化を行なった。累積重錘エネルギー ΣE を、剥離を生じさせるのに消費されたエネルギー(剥離エネルギー) E_E および粉碎を生じさせるのに消費されたエネルギー(粉碎エネルギー) E_p の和として次の式で表わす。

$$E = E_E + E_p$$

剥離体積 V_E が剥離エネルギー E_E に比例し、粉碎体積 V_p が粉碎エネルギー E_p に比例すると仮定するならば、比例定数 α 、 β を用いて次の重回帰モデルが与えられる。

$$\Sigma E = \alpha V_E + \beta V_p$$

すなわち、 α は、単位面積を剥離で失わせるのに必要なエネルギーの比率を、 β は単位体積を粉碎で失わせるのに必要なエネルギーの比率を表わした重回帰係数である。

表-1の実験データを用いて最小自乗法によってこれらの重回帰係数を水セメント比毎に求めた結果を表-2に示す。更に、重回帰モデルによる累積重錘エネルギーの推定値と実測値の関係を図-3に示す(紙面の都合でW/C60%のみ)。いずれ

の水セメント比においても大きな重決定係数となっており、重回帰モデルが、累積重錘エネルギーと剥離体積、粉碎体積の関係をよく捉えていることが確かめられる。ここで、水セメント比と各係数の関係に着目するならば、 β は水セメント比が大きい程小さくなつており、水セメント比が大きくて強度が小さい程少ないエネルギーで粉碎による陥没が成長していることを表わしている。一方で、 α は、 β ほどの顕著な変化を示しておらず、即ち、水セメント比を小さくして強度を大きくしても剥離の抑制には効果が期待できないことを表わしている。

4.まとめ

重錘衝突位置での粉碎が生じない場合、累積重錘エネルギー ΣE と剥離による剥離体積 V_E は相関関係にある。

重回帰分析の結果、水セメント比が大きいほど粉碎体積 V_p が大きくなる一方で、剥離体積 V_E は水セメント比に対して鈍感であることがわかった。

参考文献

- 1) 中村昭男、佐藤正俊、黒田一郎：レジンモルタル被覆による高強度コンクリートの耐衝撃性向上効果の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.2、pp.493-498、2014
- 2) 和泉雄也、黒田一郎：衝撃疲労によるコンクリート表層の損傷に関する基礎的研究、土木学会関東支部第43回技術研究発表会講演概要集、2016

表-2 重回帰係数と重決定係数

水セメント比 <i>W/C (%)</i>	係数推定値		重決定係数 <i>R</i> ²
	α (J/cm ³)	β (J/cm ³)	
40	7.18	580	0.993
45	8.45	468	0.941
60	9.62	262	0.949

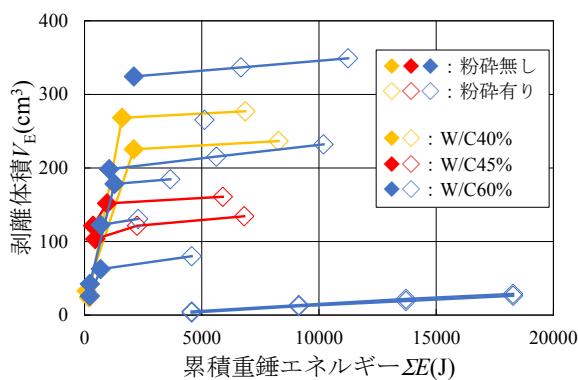


図-2 累積重錘エネルギー ΣE と剥離体積 V_E の関係

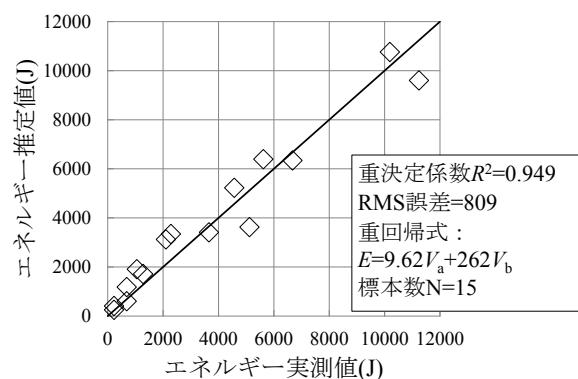


図-3 累積重錘エネルギー ΣE 推定値と実測値の比較