

火山性軽量骨材を用いた軽量コンクリートの緩衝効果

宮崎大学大学院 学生会員 ○阿南 拓人 宮崎大学工学教育研究部 正会員 尾上 幸造
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

1. はじめに

土砂災害の防止のため砂防堰堤が設置されているが、土石流の流体力や巨礫との衝突による袖部の損傷が報告されている。経済的な観点から砂防堰堤を長期間供用するためには、前面に緩衝材を設置することが有効である¹⁾。本研究では、南九州に多く産出する火山性軽量骨材である「ぼら」の有効利用の一環として、その多孔質・低強度といった特徴を考慮し、緩衝材へ適用することを念頭に、その緩衝効果について実験的に検討した。

2. 実験概要

使用材料として、普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³）、細骨材に海砂（表乾密度 2.59g/cm³、吸水率 1.20%）、粗骨材にぼら（都城市産、G₁: 10-5mm、表乾密度 1.35g/cm³、吸水率 83.3%、G₂: 15-10mm、表乾密度 1.27g/cm³、吸水率 82.8%）および石灰石砕石（津久見市産、G₁: 10-5mm、表乾密度 2.70g/cm³、吸水率 0.53%、G₂: 15-10mm、表乾密度 2.70g/cm³、吸水率 0.53%）を用いた。コンクリートの配合条件、単位量およびフレッシュ性状を表-1に示す。水セメント比 120%の配合（Pum-120、Lim-120）においては、材料分離を防ぐ目的で砕石微粉末（CSP、密度：2.58g/cm³）を混合した。コンクリートの練混ぜは、粗骨材の破砕を防ぐため、オムニミキサによりおこなった。緩衝材の形状寸法は、300mm×300mm×50mm および 300mm×300mm×150mm の版型とし、基材の形状寸法は 300mm×300mm×100mm の版型とした。

本研究で取り上げた実験の因子と水準を表-2に示す。因子は4つであり、各2水準である。したがって、全て実験をおこなうと、 $n=3$ の場合 $2^4 \times 3 = 48$ (回)

となる。本研究では、実験にかかる労力を低減し、要因間の交互作用についても検討でき、さらに実験誤差を考慮して特性値を評価可能な実験計画法²⁾を適用した。要因の自由度を表-3に示す。ここで、例えば A×B は、因子 A と B の交互作用を表す。表より、平均を含めた自由度の合計は 11 であるため、最小で 11 回の実験が必要である。そこで、これを超える最小限の直交配列表として、 $L_{16}(2^5)$ を採用した。これにより、最大 15 個までの各要因 2 水準を 16 回の実験で網羅できる。要因の割付けは、表-5の通りとした。表中、数字の「1」、「2」は、表-2の水準に対応している。ここで、因子 A を第 1 列に割り付け、因子 B を第 8 列に割り付けた場合、交互作用 A×B は第 9 列に表れる。すなわち、交互作用は因子(主効果)の位置が決まると自動的に割り付けられる。

図-1に、衝撃試験状況を示す。衝突体の重量は総計 100kg であり、先端には直径 40mm の硬質な金属が取り付けられている。基材の上部にゴムシートを介して緩衝材を配置し、衝突体の自由落下により衝撃力を与えた。基材は、1 回の実験毎に新しいものと交換した。

3. 実験結果

表-4に本研究で作製したコンクリートの力学的物性を示す。同一水セメント比で比較した場合、粗骨材にぼらを用いることで各種物性値は石灰石砕石を用いる場合よりも低下することが確認される。これは、ぼら粗骨材が多孔質であり、石灰石砕石よりも低強度（圧かい荷重で 44% 程度）であることに起因しているものと考えられる。

衝撃試験後の目視観察の結果、基材のみ（緩衝材なし）の場合、衝撃速度 1.5m/s では破壊せず、4.5m/s では破壊した。緩衝材を設置した場合、緩衝材厚さ 150mm、衝撃速度 4.5m/s のケースで基材のひび割れが観察された。それ以外のケースでは基材は見かけ上健全であり、本研究で作製した緩衝材は一定の緩衝効果を有することが確認された。

図-2に、衝撃速度が 1.5m/s のケースについて、荷重-時間曲線を示す。

表-1 コンクリートの配合条件、単位量およびフレッシュ性状

呼び名	粗骨材	W/C	s/a	W C S CSP				G ₁	G ₂	AE 減水剤	AE 剤	スランプ	空気量
		(%)	(%)	(kg/m ³)						(g/m ³)		(cm)	(%)
Pum-70	ぼら	70	45	157	224	850	0	380	153	701	449	8.0	5.0
Pum-120	ぼら	120	45	161	134	790	88	393	159	419	268	9.5	2.0
Lim-70	石灰石	70	45	167	239	833	0	746	320	746	477	4.0	2.1
Lim-120	石灰石	120	45	171	143	777	86	773	331	445	285	4.5	1.5
基材	石灰石	55	45	156	284	855	0	1065 ^a		886	567	5.0	2.9

^a 20-5 mm

表-2 実験の因子と水準

実験因子	水準
A. 緩衝コンクリートの粗骨材種類	1. (ぼら), 2. (石灰石)
B. 水セメント比	1. (70%), 2. (120%)
C. 緩衝材の厚さ	1. (50 mm), 2. (150 mm)
D. 衝撃速度	1. (1.5 m/s), 2. (4.5 m/s)

表-3 自由度

要因	自由度
平均	1
A	1
B	1
C	1
D	1
A×B	1
A×C	1
A×D	1
B×C	1
B×D	1
C×D	1
計	11

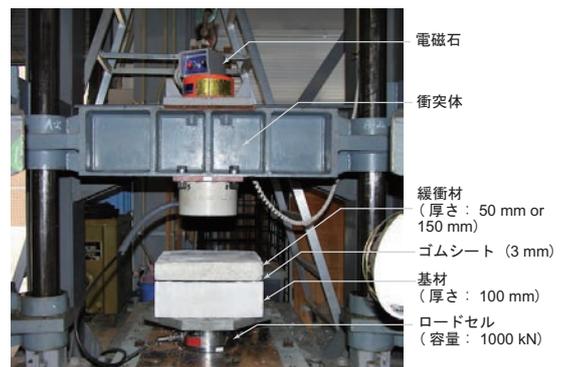


図-1 衝撃試験状況

表-4 コンクリートの力学的物性

呼び名	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	動弾性係数 (kN/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
Pum-70	10.1	1.4	11.8	9.0
Pum-120	4.5	0.6	7.3	4.2
Lim-70	33.9	3.7	38.0	29.1
Lim-120	14.5	1.9	26.7	19.0
基材	32.4	4.2	42.4	41.5

図中の衝撃荷重とは、基材の下部に設置したロードセルにより微小時間に計測されたものである。緩衝材にばら粗骨材を用いた場合、緩衝材の厚さによらず、基材のみの場合よりも衝撃荷重が低減した。緩衝材の設置により、荷重が負荷される時間は長くなるものの、最大衝撃荷重が低減され、その結果基材の受けるダメージが緩和されることがわかった。一方、緩衝材に石灰石碎石を用いた場合、緩衝材厚さが50mmの場合には基材のみの場合よりも衝撃荷重が低減したが、緩衝材厚さが150mmの場合には基材のみの場合と衝撃荷重がほぼ同等であった。このことから、衝撃荷重の大きさには粗骨材の種類だけでなく、緩衝材厚さも影響していることが示唆される。なお、荷重-時間曲線で囲まれる面積より力積を算定したところ、衝撃速度が同一であれば、その他の実験条件によらずほぼ同程度であった。このことを踏まえ、最大衝撃荷重により緩衝効果を評価することとした。

表-5に、最大衝撃荷重を示す。この結果にもとづき、分散分析を実施した結果を表-6に示す。なお、交互作用A×B、B×C、C×Dについては、それらの分散が残差eの分散よりも小さく、実験結果の変動要因が実験誤差のみによるものであると判断されたため、残差の寄集め²⁾をおこない、最終的な分散分析表を得た。因子A、C、Dおよび交互作用A×Dが有意水準1%で有意となり、交互作用A×Cが有意水準5%で有意となった。水セメント比については、本研究の範囲内においては有意とはならなかった。

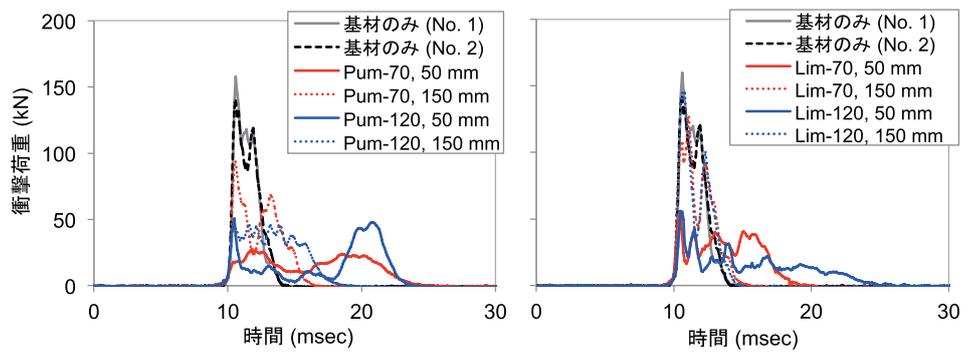
分散分析結果にもとづき、最大衝撃荷重を評価した。交互作用A×DとA×Cが有意となっているため、因子A、C、Dそれぞれについて評価するのではなく、交互作用を考慮した評価が妥当である²⁾。一例として、衝撃速度との交互作用を考慮し、最大衝撃荷重に及ぼす粗骨材種類の影響を図-3に示す。緩衝材にばら粗骨材を用いることで、基材の受ける最大衝撃荷重が低減されること、その差は衝撃速度が大きいほど大きくなることが確認される。なお、緩衝材厚さの交互作用を考慮した場合についても、ばら粗骨材を用いることで最大衝撃荷重が低減されることを確認した。

4. まとめ
火山性軽量骨材（ばら）を用いた軽量コンクリートの緩衝効果について検討した。本研究により得られた結論は以下の通りである。

- (1) ばら粗骨材を用いた緩衝材の設置により、基材の受ける最大衝撃荷重が低減される。ただし、力積はあまり変化しない。
- (2) 粗骨材の種類、緩衝材厚さ、衝撃速度は基材の受ける最大衝撃荷重に影響を及ぼす。
- (3) ばら粗骨材を用いた軽量コンクリートは、石灰石碎石を用いた普通コンクリートと比較して高い緩衝効果を有する。

【参考文献】

1) 例えば、水山高久，下東久巳：土石流衝撃力の緩衝材に関する基礎的研究，新砂防，Vol.38，No.2(139)，pp.12-15，1985.7
2) 中村義作：よくわかる実験計画法，近代科学社，1997.5



(a) 緩衝材中の粗骨材：ばら (b) 緩衝材中の粗骨材：石灰石

図-2 荷重-時間曲線（衝撃速度：1.5m/s）

表-5 $L_{16}(2^{15})$ の直交配列表と最大荷重の測定結果

No.	A		C		A×C		B×D		B		A×B		C×D		B×C		A×D		D	最大衝撃荷重(kN)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27.5
2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	205.0
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	246.9
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	45.0
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	200.0
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	50.5
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	93.5
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	216.9
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	340.6
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	55.3
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	125.0
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	373.8
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	53.8
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	241.3
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	447.5
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	143.0

表-6 分散分析表

要因	全変動	自由度	分散	F値	判定	備考
平均	513228.96	1	513228.96	-		
A	30189.06	1	30189.06	42.99	**	
B	2601.00	1	2601.00	3.70		
C	16744.36	1	16744.36	23.85	**	F_8^1 :
D	176064.16	1	176064.16	250.73	**	5.32 ($\alpha=5\%$)
A×C	4865.06	1	4865.06	6.93	*	11.26 ($\alpha=1\%$)
A×D	8732.90	1	8732.90	12.44	**	
B×D	2304.00	1	2304.00	3.28		* 5%有意
e	5617.73	8	702.22	-		** 1%有意
計	760347.24	16				

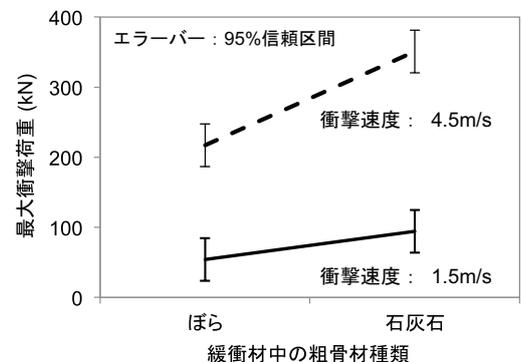


図-3 最大衝撃荷重に及ぼす粗骨材種類の影響