

建設省大隅工事事務所 吉田 三郎 長谷川辰巳 ○花岡 正明

1. はじめに

活火山南岳の活発な火山活動に伴う火山性荒廃の著しい桜島において、土石流対策を目的とする砂防施設は①頻発する土石流の直撃に耐えうる強度・耐久性②異常に大きいピーク流量に対処できる流下能力および③不安定な地盤条件にも安全な施設構造が要求されている。特に土石流は強大なエネルギーを持ち、衝撃破壊の被災例も数多く、摩耗の進行は構造物の強度低下の原因となっている。これは、砂防施設効果の減殺はもちろん、さらには施設の破壊等によって急激な土砂流出による大災害にいたる恐れさえある。これに対し、主にコンクリート構造物の厚みの余裕(「摩耗しろ」)によって対応している現状であるが、その防止対策として高強度・対摩耗性・耐久性をもつ材料および工法の確立が緊急な課題である。このため桜島においては、施設の破損状況の実態調査による設計・施工上の問題点解明、土石流の衝撃力測定による構造物強度検討等を実施しているが、ここでは、主に摩耗の顕著な流路工底張の耐摩耗コンクリート試験施工について紹介をおこなう。

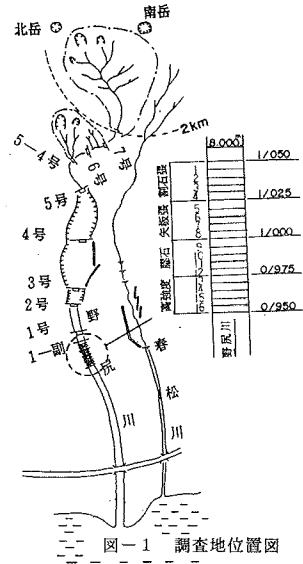


図-1 調査地位位置図

2. 耐摩耗コンクリートに関する試験調査

2.1 調査目的

表-1 野尻川の月別土石流発生回数

年度	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	計
56		3	1	1	3	2	4	2	1	0	0	2	0	19
57		1	3	1	6	1	2	0	1	0	0	1	1	17
58		1	4	6	5	3	4	0	0	0	0	1	1	25
59		1	1	6	1	4	0	0	0	0	0	2	1	16
60		0	2	6	7	10	3	2	0	0	0	2	0	32
合計		6	11	20	22	20	13	4	2	0	0	8	3	109

桜島砂防計画において膨大な対象流出土砂量に対し、現在のところ上流部における土砂整備が困難なため流路工によって海へ導く基本方針にある。このため直径1m以上の巨礫を多量に含有する高濃度の土砂が高速で流下し、流路工内の損耗が著しく、特

に底張は厚さ1mのコンクリートがわずか約2年で摺り減り地盤が露出し、土石流1回あたり普通セメントの摩耗量はおよそ2cmと推算される<sup>1)</sup>。そこでこの土石流常襲河川におけるコンクリート材料の耐摩耗性を試験し、施工性・経済性を考慮した使用材料の選択および、構造設計のあり方を検討してみた。

2.2 調査方法

昭和54年度に九州技術において耐摩耗性に優れているとされる圧縮強度の高いコンクリート配合から膠石、

高強度、エメリー、鋼繊維混入の4種類コンクリートで、配合、骨材、添加剤を変えて、計42種類のコンシステンシー、強度、摩耗度等の室内試験を実施した<sup>2)</sup>。その試験結果より、昭和55年度に比較的摩耗度、強度が良い高強度コンクリート、膠石コンクリートのほか現地で容易に得られる石材

表-2 試験施工使用コンクリート諸元

コンクリートの種類	示 方 条 件						示 方 配 合						測 定 値	
	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	スランブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	W/C	S/A (%)	単 位 重 量 (kg / cm <sup>3</sup> )				スランブ (cm)	空気量 (%)	圧 縮 強 度	
							セメント	水	砂	砂利			7日	28日
高強度	630	4±1	1	40	31.8	29.0	400	127	524	1,387	5.0	-	347	609
膠石	360	4±1	1	40	32.7	-	600	196	-	1,578	1.0	-	247	356
矢板張り	210	4±1	4	40	55.0	40.0	278	153	740	1,164	4.5	4.2	188	279
割石張り	160	8±25	4	40	64.0	40.2	255	163	740	1,156	8.5	4.1	132	217
普通コン	160	4±1	4	40	63.0	41.4	243	153	776	1,156	4.0	3.7	134	211

を用いた割石張りコンクリートと、鋼板被覆工法(矢板張りコンクリート)の計4種を55年度に野尻川流路工上流付近に施工して、56年度より摩耗量を測定した。試験場所は桜島の中でも最も土石流が頻発する野尻川とし、そこでは年平均25回土石流の発生が確認されている(表-1)。

この野尻川の流路工(図-1参照)0K/950m~1K/050mの低水敷(W=8m)に長さ25mごと4区間にわけ、4つの工種を連続して以下のような底張施工を行なった。(図-2参照)

(1) 高強度コンクリート, 膠石コンクリート: 平均 $t=18.4\text{cm}$ の均しコンクリート上に、断面ごとに規定の厚さ $t=30\text{cm}$ まで打設し、締固めた。

(2) 矢板張りコンクリート: 基面上までのコンクリート打設後上流側を巻き込んだに鋼矢板を張り並べた。

(3) 割石張りコンクリート: コンクリート(160-8-40)を仕上面より約35cm下面まで打設したのち、控35cm、割石(面 $800\text{cm}^2$ ~ $1,000\text{cm}^2$ )を12ヶ/m<sup>2</sup>敷詰め、胴辺を行った。

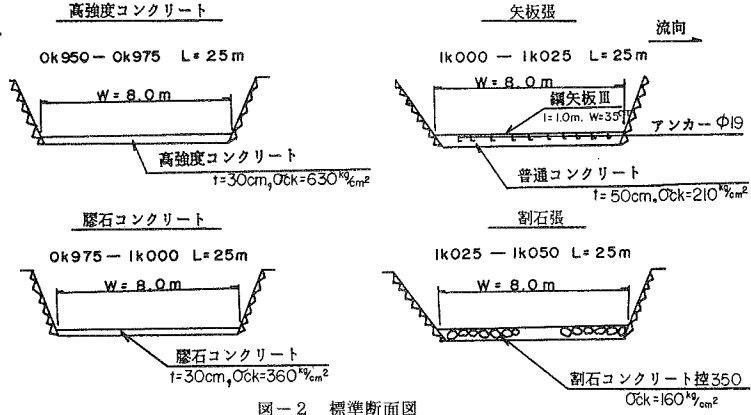


図-2 標準断面図

2-3 使用材料及び施工性 使用材料は現地産を原則とし、細骨材は鹿児島県根占産海砂、粗骨材も牛根産のものを使用し割石張りコンクリートは溶岩を用いた。

コンクリート配合条件は、示方条件が満たされるよう3回の試験練りを行い決定した。

その配合及び圧縮強度試験結果を表-3に掲げた。試験練りの結果より供試体を作成し材令7日で圧縮強度試験を行い28日強度を推定した。普通コンクリートは、1回目の試験練りで所要のコンシステンシー、強度等を満足したが、膠石コンクリートは第1回試験練りで、スランプ値を大幅に外れたため調整に水量の増加による強度低下を見込み $C=650\text{Kg}/\text{cm}^3$ に上げた。

一方、高強度コンクリートは所定の強度が得られなかったため示方配合を変え( $C=450\text{Kg}/\text{cm}^3$ )、セメント量の増加で強度の増加を試み第3回試験練りで、 $\sigma_{28}=609\text{Kg}/\text{cm}^2$ となったが呼び強度 $630\text{Kg}/\text{cm}^2$ に達しなかった。

実際の施工性において高強度セメントはセメント使用量 $450\text{Kg}/\text{cm}^3$ が限度で、また減水剤の使用でスランプの低下が著しい生コン車からシュート打設が途中で詰まってしまい、敷き均しに平面パイプレーターを用いるなどやや難があった。膠石コンクリートは強い粘性や硬化発熱等養生に注意する必要がある。また矢板張りコンクリートについては、鋼板とコンクリートが密着させるようフック付着および上流側矢板の巻き込みを行

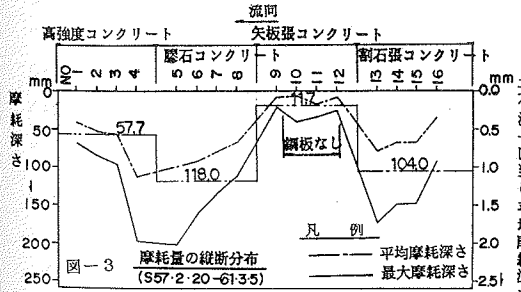


図-3 摩耗量の縦断分布 (57.2-20-61.35)

ない設置・据付に手間を労力を要した<sup>2)</sup>。施工単価は単位面積当り高強度コンクリート 5,930円, 膠石コンクリート 6,950円, 矢板張りコンクリート 12,969円, 割石コンクリートは 10,970円であった。

#### 2.4 調査結果及び検討

施工完了した56年5月から61年3月までに計102回の土石流が発生し、年平均21回にのぼる。

摩耗計測は各工種別に4本ずつ5mピッチで流向に対

し直角な測線上を、50cmおきにレベル測量を行ない摩耗断面を算出した。56年に10回、以後年2回実施した他、試験区間上下の普通コンクリート( $t=50\text{cm}$ )施工区間について58年10月から59年9月に同様の横断測量実施した。

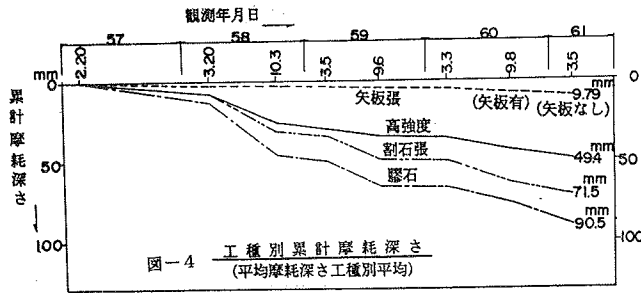


図-4 工種別累計摩耗深さ  
(平均摩耗深さ工種別平均)

ら1/50でありいずれも格段に耐摩耗性にすぐれている。横断的な摩耗分布は流路が若干湾曲しているため、やや中央付近から左側に最大摩耗箇所が発生する傾向があるが、矢板張りだけは摩耗が偏りのない平均した摩耗状況にある。5年間の摩耗の度合は、膠石コンクリートが一番激しく、割石張、高強度コンクリート、矢板張の順となった。割石コンクリートは用いた石材が予想外に擦り減りやすく、1つ割石が抜けると周囲も連鎖的に欠落する傾向が強い。現時点に於いては耐摩耗性は矢板張が最も有効だが、矢板が摩耗し覆いがなくなった部分は普通コンクリートと同様に急激に摩耗するとみれる。また摩耗を完全に防止することは困難なため補修工事が不可欠であり、その補修工事の難易度も重要な要素である。特に短時間でも降雨の集中で土石流の突発する桜島において、出水期の河床内の工事は極めて危険で、施工期間の短い工法が望まれる。その点、矢板張りは施工の手間がかかり、鋼板のすりへり後は補修が難しい。底張の維持機能が20cmまでの摩耗で補修が必要と仮定して各工種の面積1.0㎡当り年間損耗費を算出した(表-3)。ここで矢板施工は高価な上、施工性にも問題がある。

コンクリート材の試験施工の結果を総合的に評価すると、各工種を共に等厚とした場合耐摩耗性を備え養生に多少費用がかさんでも高強度コンクリートが最も現実的であると考えられる。コンクリートの耐摩耗性は、圧縮強度と深い関係にあることが確認されており、天竜川上流工事事務所の試験によると、コンクリート圧縮強度が500~600Kg/cm<sup>2</sup>より小さくなると、コンクリートの耐摩耗性は著しく悪くなることが報告されている<sup>2)</sup>。しかし、現実的に現場において600Kg/cm<sup>2</sup>以上の強度をコンスタントに得るには、減水剤や特殊混和材の添加が必要と考えられ、養生にもそれ相応の対処が必要である。

一方、野尻川の流路工においては上流から大量に供給される直径1m程度の転石を用いた転石コンクリート

表-3 年平均摩耗厚と補修周期の推算

観測期間	56.5~61.3		58.10~59.9		年換算摩耗厚	摩耗厚20cmに達する年数	1年当り損耗費(施工単価)
	平均摩耗厚	摩耗厚	最大	平均			
高強度コンクリート	61.8	30 9.0	(0.04)	(0.08)	12.8	20/1.28=15.6年	7,790/15.6 ≈449円/年㎡
膠石コンクリート	103.9	53 19.5	(0.08)	(0.17)	21.5	20/2.15=9.3年	6,950/9.3 ≈747円/年㎡
矢板張コンクリート	10.8	14 1.8	(0.02)	(0.02)	2.2	13/2.2=5.9年	12,968/5.9 ≈2,198円/年㎡
割石張コンクリート	78.9	73 18.3	(0.11)	(0.16)	16.5	20/1.65=12.1年	10,970/12.1 ≈907円/年㎡
普通コンクリート	115.7	674 115.7	(1.0)	(1.0)	115.7	20/11.57=1.7年	5,930/1.7 ≈3,488円/年㎡

・平均摩耗厚20cmで次期補修を考えるものとした。( ) 普通コンクリートとの比較  
土石流発生回数 56.5~61.3 102回 58.10~59.9 15回

57年度から60年度の測線毎の平均摩耗の縦断方向の分布を図-3に示すが、各工種の最上流の摩耗断面は、直上流の材質により大きく影響を受けるため、解析にはそれぞれ下流側の3横断面を使用するものとした。また1年間ではあるが、普通コンクリートと比較した結果(表-3)によると、平均摩耗および最大摩耗が普通コンクリートの1/6か

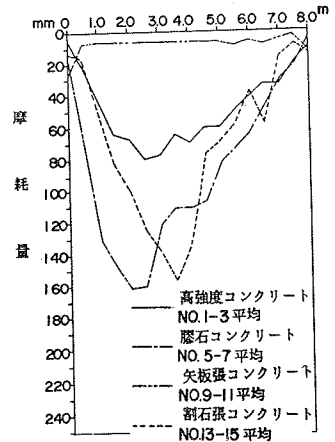


図-5 摩耗横断分布  
(S57-2-20-6135)

による施工が実施されており、良好な実績をしめしている。この施工方法については現場付近の良質の転石が必要な個数を供給できるかが問題である。またコンクリート材料の他にアスファルト材を用いた耐摩耗性のたかい材質も開発されており、これらも含め今後試験施工の実施等により有用性を検討したい。

さらに普通セメント以外の材料を用いた場合、強度とすりへりに対する余裕厚

の設定方法の基準等が必要となる。

#### 4. 耐土石流砂防施設の検討

以上、流路工底版のコンクリート材料の摩耗量について述べてきたが、桜島において土石流の直撃を頻繁に被る砂防ダム・床固工等の水通部・袖部・前庭部の破壊及び擦り減り、洗掘に起因する被災事例はしばしば発生し、これらは、流路工の底版が主に平行方向からのせん断力によるのに対し、砂礫の衝突方向は特定できずまた土石流の外力も定かでなく、衝撃破壊・摩耗等の機構は明確でない。現在桜島において砂防ダム・床固工等は主にコンクリート厚の増強により土石流の衝撃力・摩耗に対応している。しかし、土石流発生頻度極めて高いため損耗が著しく60年度実施された水叩き工の損耗調査では、厚さ3.0mの水叩きコンクリートがわずか4ヶ年で打ち破られた事例が確認された(図-6)。土石流の強大な破壊力に対する抜本的対策の検討するため、その基礎となる土石流の性状把握のため土石流の衝撃荷重観測・動態調査や、水理的力学的解明に積極的に取り組み、この結果を施設補強や、使用材料検討に活かし、試験施工を経て、土石流常襲河川における砂防施設の構造の確立を図りたい。そして、土石流の多発する桜島でのこのような実績の積み重ねは、全国に多数存在する土石流河川における土石流対策施設設置構造の計画・設計上の大きな意味を持つであろう。

#### 参考文献；

- 1) 建設省九州地方建設局大隅工事事務所：桜島土石流調査成果報告書 1982.3.
- 2) 建設省九州地方建設局九州技術事務所：昭和54年度「技術管理業務の成果概要」1980年3月.
- 3) 建設省九州地方建設局九州技術事務所：昭和55年度「技術管理業務の成果概要」1981年3月.
- 4) 建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所飯島砂防出張所：高強度コンクリート試験報告，1983年10月.

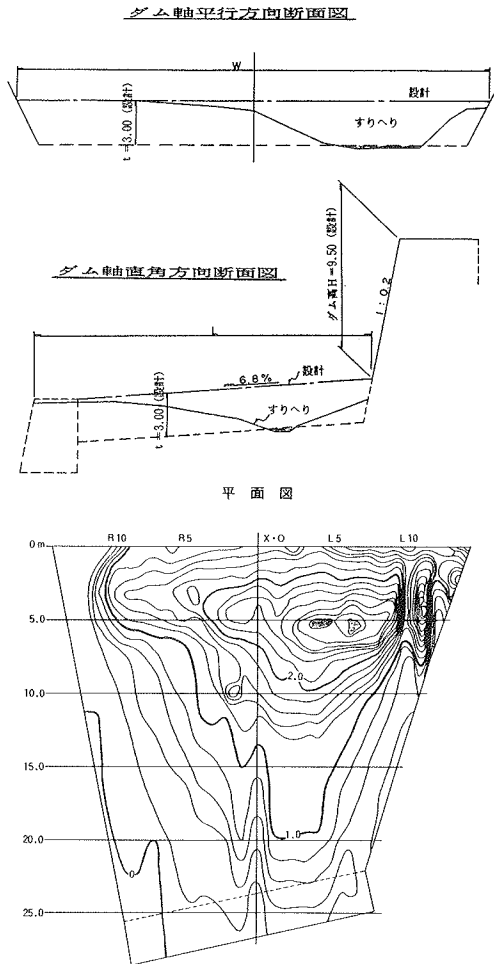


図-6 野尻川1号副ダム擦減り調査