



### 3. 調査対象覆道

調査は、表-I に示す一般国道の覆道において実施した。日本海側では一般国道 231 号の 18 基、太平洋側では一般国道 336 号の 33 基、計 51 基の覆道について調査対象とした。調査対象の覆道については、日本海側の覆道は昭和 50 年代に建設されているものが多く、太平洋側は平成に建設されている覆道も多数存在している。

### 4. 調査結果

#### 4.1 覆道本体の劣化損傷状況

調査の結果、覆道本体については日本海側、太平洋側とも目地等のずれ、段差、開口や部材の変形、傾斜等、緊急の点検が必要となるような変状はみられなかった。

図-II と III は、各覆道において変状が発生している項目を抽出し、各路線の覆道数に対する割合で示したものである。両図より、柱部に變状が多くみられるが、日本海側と太平洋側でその變状発生割合に差異が見受けられる。

図-II より、日本海側では覆道全体の 33~61%において、柱部コンクリートの浮き・剥落・鉄筋露出・錆汁等の變状が生じている。また、覆道全体の 28%で補修履歴があることがわかる。これに対し、図-III より、太平洋側では日本海側と同様に覆道全体の 36~70%において、柱部コンクリートの浮き・剥落・鉄筋露出等の變状が発生している。また、頂版・側壁については覆道全体の 12~24%において、日本海側では見受けられない錆汁・鉄筋露出等の變状が発生している。

覆道の劣化損傷の事例を写真-I ~ III に示す。

写真-I は日本海側の覆道の損傷状況であり、上述のように部位別に変状が多く発生していたのは柱部で、鉄筋露出や錆汁に観られる鋼材の変状も太平洋側の覆道より多かった。また、写真右上のように補修された箇所においても、鉄筋の腐食により剥落している状況が見られた。

写真-II は、日本海側の柱基部の鉄筋の一部が露出している状況である。左側は施工時の施工不良によるものと思われるジャンカ箇所、右側は鉄筋かぶり不足の箇所のコンクリートが剥離し、鉄筋が露出している状況である。

写真-III は太平洋側の覆道の損傷状況である。コンクリートの浮きや剥離のほか、写真右上のように頂版目地部に漏水が発生している状況も見られた。

表-I 調査箇所（日本海側・太平洋側）

R231		R336			
整理番号	覆道竣工年月	整理番号	覆道竣工年月	整理番号	覆道竣工年月
1	S62.11	1	S56	17	S58.11
		2	S56, S57	18	S61
2	S61.10	3	H2.11	19	S62
3	H9.11	4	S54, H11 (伸長)	20	S54
4	H10.3			21	S59.11
5	S56.12	5	S56	22	S57.11
6	S56.12	6	S54, H3.1, H3.12, H6	23	S60
7	S56.12			24	S62, H15.2
8	S56.12	7	S53, H6	25	H3.11
9	S55.11	8	S51		
10	S61.11	9	S52	26	H2.12
11	S58.11	10	S50	27	H10.3
12	S58.11	11	S54.11	28	H8.3
13	S61.11	12	S58.1	29	S59.10
14	S57.11	13	S58.1	30	S57
15	S54.11	14	S58	31	S59
16	S56.11	15	H2.12, H3.11	32	H11.3
17	S56.11	16	S62, S50, H12, H13	33	H11.3
18	S56.11				

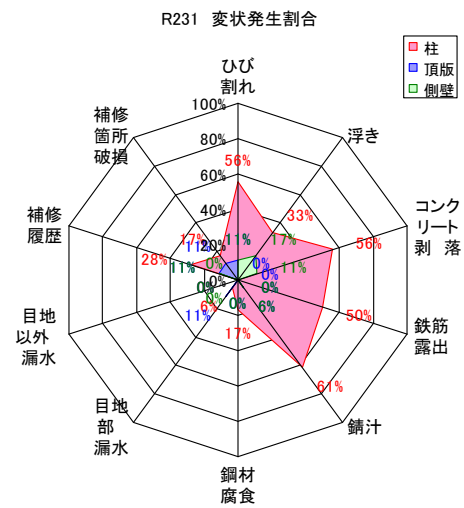


図-II 日本海側変状割合（18基）

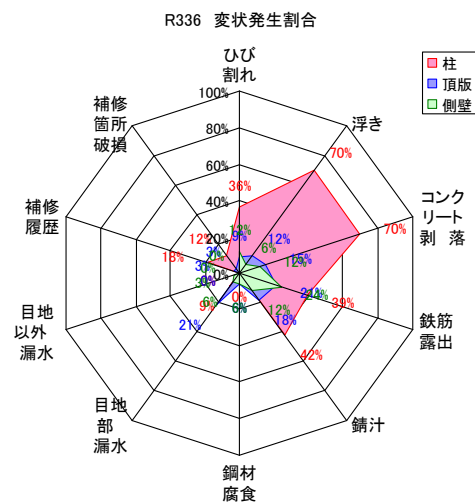


図-III 平洋側変状割合（33基）



写真-I 日本海側の覆道の損傷状況

日本海側の覆道では、築造から年数を経たものが多く、経年劣化が顕著に現れているものと考えられるが、同じ海岸沿いという条件では、太平洋側に比較して日本海側の厳しい自然環境も現れてきているものと考察される。

#### 4.2 覆道上の落石状況

写真-IVは、日本海側の覆道上における落石状況の例である。

本調査の結果、日本海側の72%の覆道で、太平洋側で73%の覆道において、覆道上に至るような落石の事例を確認した。落石の状況としては、設計時の落石径程度のものから、写真下のように設計時の落石径を大きく上回る落石の発生も確認された。

#### 5. まとめ

既設落石覆道の落石状況、劣化・損傷状況の調査結果を整理すると、以下のとおりである。

- 1) 落石覆道の劣化損傷は、柱部に集中して発生している。
- 2) 太平洋側に比べ日本海側の構造物の方が、劣化損傷度合いが高く、特に鉄筋のさび汁、露出が顕著な傾向として現れている。
- 3) 太平洋側の覆道では、コンクリートの浮き、剥離が多い状況であった。
- 4) 覆道上に至るような落石の事例を約7割の覆道において確認した。その中には設計落石径を大きく超える事例も確認された。



写真-II 覆道柱部の損傷状況(鉄筋露出)

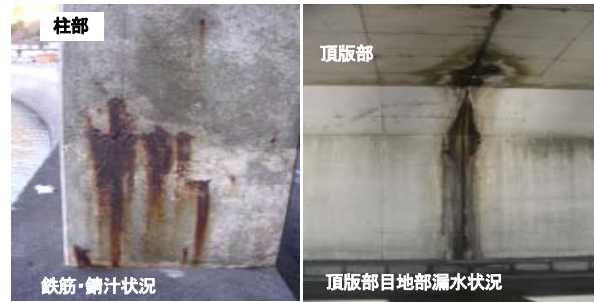


写真-III 太平洋側の覆道の損傷状況



写真-IV 覆道上の落石状況

## II. 落石荷重の評価手法の提案に関する研究

### 1. はじめに

落石は突発的に発生する自然現象のため、不規則性が強く、事前にその発生状況を予測することは極めて難しい。このような落石に対して落石軌跡や到達範囲、落石エネルギー等を精度よく推定することができれば、より適切な防災計画の立案が可能となる。

一方、落石の落下挙動を推定する手法の一つとして、個別要素法（「distinct element method」以後、「DEM」と記す。）がある。この手法は落石のような固体の運動をシミュレートするのに適した数値解析手法である。本手法では斜面勾配や地形の変化を精度よく再現し、解析定数を適切に設定することができれば、落石エネルギー等を精度良く推定することができるものと考えられる。

本研究では DEM における解析定数の設定のため、岩体の跳ね返り係数に着目し、室内実験及び実斜面を用いた現地実験を実施した。

### 2. 室内実験

#### 2.1 実験概要

起伏に富んだ自然斜面での落石の挙動を DEM により再現する場合には、斜面の跳ね返り係数の影響によって岩塊の跳躍状況が大きく変化し、結果に大きな差異が生じることが明らかとなっている。これより、本検討では球体に整形した岩体（岩球体）を用いた室内実験によって、破碎や回転等を除いた純粋な跳ね返り係数を把握することとした。

写真-I には、高速度カメラで撮影した室内実験状況を示す。本実験は岩体あるいは岩球体を、落下高さを任意に変えて平盤試験体に衝突させる自由落下試験である。

#### 2.2 落下試験体形状・寸法

写真-II には、室内実験で用いた試験体を示す。試験体は後述の現地実験や落石挙動解析を行う研究対象斜面の近傍から採取した岩体より作製した。

落下試験体は岩体（安山岩・火砕岩）と岩球体（安山岩）の2種類とし、岩球体については大きさの異なる3種類を作製した。各岩球体の直径および質量はそれぞれ φ10cm 1.3kg、φ20cm 10.8kg、φ30cm 35.5kg である。

また、平盤試験体としては、一軸圧縮強さ 63 N/mm<sup>2</sup> の安山岩と一軸圧縮強さ 35 N/mm<sup>2</sup> のモルタルの2種類の材料により作製した。



写真-I 室内実験状況（自由落下試験）



写真-II 室内実験で用いた試験体

表-I 室内実験結果

平盤材質	落体			落下高さ (m)	計測時の跳躍回数	跳ね返り係数			
	形状	重量 (kg)	寸法 (cm)			計測値 e	平均	採用値	
岩球体の室内実験条件	岩盤	岩球体	1.3	φ10	0.5	3	0.68	0.66	0.60
	岩盤	岩球体	1.3	φ10	1.0	3	0.64		
	岩盤	岩球体	1.3	φ10	2.0	2	0.60		
	岩盤	岩球体	1.3	φ10	3.0	2	0.70	0.61	
	岩盤	岩球体	10.8	φ20	0.5	3	0.70		
	岩盤	岩球体	10.8	φ20	0.5	3	0.73		
	岩盤	岩球体	10.8	φ20	1.0	2	0.48	0.47	
	岩盤	岩球体	10.8	φ20	2.0	3	0.53		
	岩盤	岩球体	10.8	φ20	3.0	1	0.61		
	岩盤	岩球体	35.5	φ30	0.5	3	0.60	0.53	
	岩盤	岩球体	35.5	φ30	1.0	2	0.34		
	モルタル盤	岩球体	1.3	φ10	0.5	3	0.51	0.46	
	モルタル盤	岩球体	1.3	φ10	1.0	3	0.61		
	モルタル盤	岩球体	1.3	φ10	2.0	2	0.49		
モルタル盤	岩球体	1.3	φ10	3.0	3	0.49	0.52		
モルタル盤	岩球体	10.8	φ20	0.5	2	0.48			
モルタル盤	岩球体	10.8	φ20	1.0	2	0.44			
モルタル盤	岩球体	10.8	φ20	2.0	3	0.63	0.26		
モルタル盤	岩球体	35.5	φ30	0.5	1	0.25			
モルタル盤	岩球体	35.5	φ30	1.0	1	0.27			
岩体の室内実験条件	岩盤	岩体	1.9	□12×10×13	1.0	1	0.24	0.34	0.24
	岩盤	岩体	1.6	□9×8×19	1.0	1	0.34		
	岩盤	岩体	4.7	□13×12×20	1.0	1	0.44		
	岩盤	岩体	4.6	□13×8×30	1.0	1	0.33		
	岩盤	岩体	10.5	□20×20×22	1.0	1	0.31		
	岩盤	岩体	3.6	□9×14×16	1.0	1	0.31		
	岩盤	岩体	6.5	□16×18×23	1.0	1	0.43	0.29	
	モルタル盤	岩体	1.6	□9×8×19	1.0	1	0.30		
	モルタル盤	岩体	1.9	□12×10×13	1.0	1	0.27		
	モルタル盤	岩体	3.6	□9×14×16	1.0	1	0.31		
	モルタル盤	岩体	4.7	□13×12×20	1.0	1	0.24		
	モルタル盤	岩体	2.3	□16×7×17	1.0	1	0.16		
	モルタル盤	岩体	5.8	□17×15×23	1.0	1	0.30		
	モルタル盤	岩体	6.0	□14×21×22	1.0	1	0.29		
モルタル盤	岩体	3.0	□13×13×22	1.0	1	0.38	0.15		
モルタル盤	岩体	2.7	□13×10×14	1.0	1	0.34			
モルタル盤	岩体	3.8	□16×13×20	1.0	1	0.15			
モルタル盤	岩体	1.5	□10×8×16	1.0	1	0.38			
モルタル盤	岩体	2.8	□15×10×19	1.0	1	0.35			

## 2.3 計測方法

落下試験は落下試験体の落下高さをパラメータとして任意に変化させて実施した。実験においては、高速カメラによる映像撮影を行うとともに、平板試験体に取り付けたセンサーにより衝突加速度を計測した。これらの計測結果より、衝突前後の速度を算出し、跳ね返り係数を求めた。なお、跳ね返り係数は2回目、3回目の跳躍時について検討した。

## 2.4 実験結果

表-Iには、室内実験の結果一覧を示す。表より、岩体は、岩球体と比較して低い跳ね返り係数になる傾向がみられる。これは岩体が平盤試験体と衝突時にその形状により反発エネルギーの一部が回転力に変換されたことや、衝突時に局所的な破碎や欠損、変形やめり込みによりエネルギーが消失したためと推察される。

これらの室内実験の結果から、試験を行った範囲内では落下試験体の材質および被接触面の材質が同じであっても、落体の形状によって跳ね返り係数が異なる結果が得られた。このことから、理論的な跳ね返り係数を用いることは、必ずしも良好な結果を得ることにはならないものと推察される。

## 3. 現地実験（実斜面を用いた落石実験）

### 3.1 実験概要

現地実験は写真-IVに示すような斜面高さ200mを越える急崖斜面にて実施した。

現地実験には、写真-IIIに示すように岩体及びゴムボールを用いた。岩体の直径は30cm程度、ゴムボールの直径は30cm、20cmである。ゴムボールはDEMの要素が球体であることから、球体の落下軌跡を把握するために用いた。

落下実験は2箇所で行われ、落下試験体を斜面上から自由落下させることにより行った。写真-IVには、現地実験を実施した投石位置A（落下高さ約80m）と投石位置B（落下高さ約35m）を示す。

### 3.2 実験結果

投石位置Aからの落下軌跡は斜面が沢状になっていたことから沢の内側に誘導されるように落下した。その落下時間は10秒程度であった。一方、投石位置Bからの落下軌跡は斜面が平滑に近いことから局所的な起伏に影響され、落下当初から落下軌跡に違いがみられた。なお、落下時間は4秒程度であった。

これらのことより、落下軌跡は斜面地形や斜面性状から受ける影響が大きく、落石挙動を精度良く推定するためには、斜面解析モデルの作成において、より細かな斜

面地形の再現が重要であることが分かった。



写真-III 現地実験の落下試験体

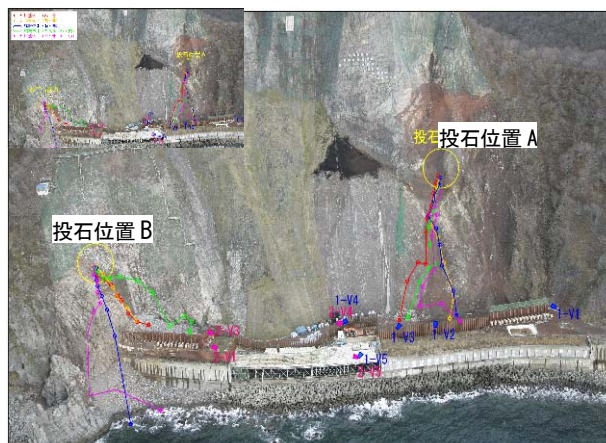


写真-IV 現地落石実験結果

## 4. まとめ

結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 落下試験体の材質及び被接触面の材質が同じであっても、落下試験体の形状で跳ね返り係数が大きく異なる。
- 2) 落石挙動を精度良く推定するためには、斜面解析モデルはより細かな斜面地形の再現が重要である。

## 参考文献

- 1) 阪口秀、岩下和義、中瀬仁、本田中、西野隆之：土の構造とメカニクス-ミクロからマクロへ 4、数値粒子法による土の微視的挙動の追跡（その4）、社団法人地盤工学会、pp.53-58、2002
- 2) 大町達夫、荒井靖博：個別要素法で用いる要素定数の決め方について、構造工学論文集Vol.32A、1986

## A STUDY ON THE DESIGN EXTERNAL FORCE AND REPAIR/REINFORCEMENT OF ROCKFALL PREVENTION STRUCTURES

Abstract : When studying road disaster prevention structures, it is important to verify the effectiveness of existing structures and improve safety efficiently and effectively through appropriate repairs and reinforcements. This study presents a method of evaluating rockfall loads based on the actual site conditions, for effective use of existing stock. It also aims to systematically summarize the deterioration/damage conditions of existing structures and repair/reinforcement technologies.

In the study on the characteristics of deterioration/damage of existing structures and the systematization of repair/reinforcement technologies, the rockfall and deterioration/damage conditions of existing rock-sheds were examined. As a result, cases of rockfalls that reached the top of rock-sheds were observed, and it was found that the deterioration/damage characteristics of rock-sheds differed significantly between those on the Pacific Ocean side and those on the Sea of Japan side.

In addition, laboratory and field tests were conducted to study a rockfall load evaluation method using a rockfall simulation, and the setting of input constants for the simulation was examined.

Key words : road disaster prevention structure, rock-shed, deterioration/damage, rockfall simulation, DEM