

## (26) 立山有料道路における巨岩処理と落石エネルギー評価

富山県道路公社	土 肥 行 雄
同	清 水 靖 彦
同	○佐 伯 滋
(株) エイ・シイ・デイ	吉 田 博
(株) 建成コンサルタント	四 藤 勝 彦

### 1. まえがき

立山有料道路は、主要地方道富山立山公園線の終点に近い桂台～室堂（終点）の間に位置し、延長約2.8 kmである。当道路は、日本有数の山岳観光道路であり、富山県の顔である立山への重要なアクセス道路となっている。標高660mの桂台から標高2,450mの室堂まで車で約1時間の行程には、下界と全く違った光景を楽しむことができる。

この有料道路の最下部の桂台～美女平間の約5.5 kmの区間では、桂台（標高640m）とブナ坂（標高1,140m）で約500mの比高があり、その直線距離は650mである。この山腹斜面の平均勾配は約38°である。ブナ平の縁は崩壊地を形成しており、この崩壊地の頭部はさらに勾配が急で、50°～60°、場合によっては90°あるいはオーバーハング状態となっている。

この区間に有料道路は3段のつづらおれとなっており、下から第1線、第2線、第3線と呼ばれている（図-1）。

地質的には、下部の第1線は飛騨変成岩で第2線の標高近くまで達し、この上の第2線近くから第一期の安山岩の溶岩が、さらに第3線では第二期の溶結凝灰岩、非溶結の凝灰岩からなっている（図-2）。

この区間の崩壊は、第二期の凝灰岩の露出する山腹斜面に集中しており、その規模は極めて広大で、ブナ平端部の肩部から称名谷斜面に向かって一挙に滑落し、その崩壊長は100m～200m、崩壊幅50m～100m、崩壊斜面の勾配も50°～60°となっており、また、落下の可能性を有する岩塊重量も20～40tfと大きく、落石対策の必要性に迫られている区間である。

落石対策便覧<sup>1)</sup>によれば、斜面上を落下する落石の運動エネルギーは、標高差に相当する高さからの自由落下速度に、斜面の土質、岩質、凹凸、勾配、ならびに岩石の形状によって定まる残存係数を乗じて得られる落石速度を用いて算出できるとしている。また、斜面が長大となって落下高さが40mを越えると落石速度は一定値（終端速度）に達する傾向にあるとされている。しかし、本斜面のような長大斜面を巨岩が落下する場合に対する適用性については、未だ明らかにされていない。

しかし一方では、緊急の巨岩対策に迫られており、既往の落石実験データより得られた係数を用いた落石シミュレーションによるエネルギー評価法に頼らざるおう得ない。既往の落石実験での最大重量のものとしては、吉田が行なった1.0～4.0tfのものがあり<sup>2)</sup>、藪原の落石実験<sup>3)</sup>で得られた係数を修正した係数を用いたシミュレーションが行なわれている。

平成4年5月16日に、重量約20tfの巨岩が第1線の路肩に落下しているのが発見された。幸い事故には至らなかったが、落石の発生源はブナ平の縁は崩壊地であり、約40tfの巨岩が高低差約290m、水平距離約400m、斜面長515mを落下し、途中で割れて最終的に約20tfとなっ

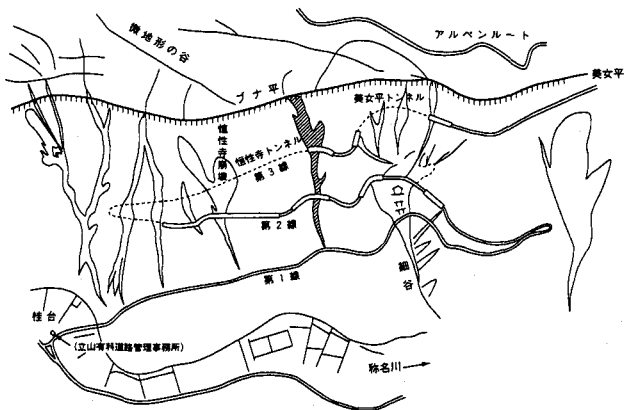


図-1 桂台～美女平間の崩壊地

たことが明らかとなった。この巨岩の落下経路には、上方からトンネル（第3線）、ロックシェッド（第2線）があり、この巨岩がその上を通過してきたことも明らかとなった。

本報告は、1.0～4.0tf程度の落石実験より得られた係数を用いた落下シミュレーション結果と、巨岩の痕跡調査から得られた巨岩の落下挙動および発破による除去作業より発生した落石の停止位置の調査結果との比較から、巨岩に対する落石エネルギーを評価するシミュレーション方法の適用性について検討を行なう。

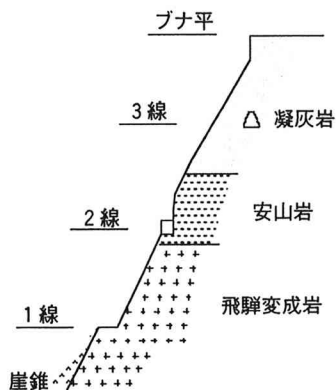


図-2 崩壊地の斜面特性



写真-1 第1線に落下した巨岩

## 2. 落石シミュレーション

巨岩の落下に対するシミュレーションを試みた。その主な目的は以下のとおりである。

- (1) 落石の落下軌跡のシミュレーションに必要なデータは、比較的小さい岩塊を斜面上に落下させた実験結果に基づいており、シミュレーションの巨岩に対する適用性を検討する必要がある。
- (2) 既往の落石実験での高低差は、最大で60m程度であり、高低差が大きい長い斜面に対してのシミュレーションの適用性を検討する必要がある。

シミュレーションは、文献2)に基づき行う。シミュレーションで使用する各種係数は、現場の状況、斜面の表面の性状、岩塊の岩種および形状、斜面の植生などにより、既往の斜面上の落石の運動形態に関する実験結果およびこれまでに行った落石のシミュレーション結果を参考に決定されている。

すなわち、吉田らの落石のシミュレーション<sup>2)</sup>に一般に用いられている各種係数は、これまで行なわれた最も信頼がおける落石実験に内、最も多くのデータを有している菌原の現場落石実験より得られたデータ<sup>3)</sup>およびさらに補足実験として行なわれた広島の実験データ<sup>2)</sup>も参考に得られたのである。

しかし、菌原の実験に於ては、落石重量が30～80kgのものが用いられており、一般のロックシェッドの設計を対象とした落石よりかなり小さく、大重量の落石の落下形態とは以下のように異なっている。

- (1) **跳躍量** 小重量の落石は大重量の落石に比較して跳躍量が大きい。すなわち、小重量の落石の反発係数は大重量の落石の反発係数より大きいと考えられる。
- (2) **衝突時の減衰** 一般に、落石が跳躍し再び斜面に衝突するとき、衝突後の斜面に平行な速度成分は衝突前の速度成分に比較して小さくなる。この速度成分の減衰を、小重量の落石と大重量の落石を比較すると、小重量のものが減衰が大きい。これは、小重量の落石は斜面の表面の凹凸などの影響を受け易いことによっている。
- (3) **落下経路** 小重量の落石の落下経路は屈曲するが、大重量の落石は、ほぼ直線的に落下する。これは、小重量の落石は斜面の表面の凹凸などの影響を受け易いことによっている。

本シミュレーションにおいては、検討の対象とする落石が2.0tfから4.0tfと大重量であるため、従来用いていた諸係数をそのまま使用することに問題があると考えられるので、広島で行なった大重量（1.0～4.0kgf）の落石実験データを検討して得られた係数を用いたシミュレーションを行なった。

以下に、小重量の落石を対象としたシミュレーションに用いられている各種係数および今回使用した各種係数を示す。

○小重量の落石を対象としたもの

主として蘭原の実験データに基づくもので、比較的小重量の落石シミュレーションに用いられるものである。大重量の落石に対しては、反発係数が過大に、減衰係数が過小に設定されている。

表-1 シミュレーションに用いる係数 (小落石)

	岩斜面		崖すい斜面	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
反発係数	0.55	0.28	0.55	0.22
摩擦係数	0.69	0.18	0.59	0.09
減衰係数	0.58	0.25	0.63	0.18
限界速度(m/s)	4.69	2.02	8.5	2.5

抵抗係数:  $C_k = 0.1$

○大重量の落石を対象としたもの

広島での実験の内、1.0tf以上の落石実験データに基づいて修正したもので、比較的小重量の落石シミュレーションに用いられているものより、反発係数を小さく、減衰係数が大きく設定してある。

表-2 シミュレーションに用いる係数 (大落石)

	岩斜面		崖すい斜面	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
反発係数	0.275	0.28	0.275	0.22
摩擦係数	0.69	0.18	0.59	0.09
減衰係数	0.78	0.25	0.78	0.18
限界速度(m/s)	4.69	2.02	8.5	2.5

抵抗係数:  $C_k = 0.1$

本シミュレーションにおいては、表-2に示す係数を用いた。斜面は落石発生源から巨岩が落下した第1線までの高低差287.9m、水平距離404.1mを59の直線斜面でモデル化した。シミュレーションは500回行なった。図-3は500回のシミュレーションの内、25回分の落石の落下軌跡を示したものである。シミュレーションにおける最大の落石到達位置は、図-3に示すように第1線の山側擁壁上まで達している。

図-4は、モデル化した斜面の節点番号と斜面番号および500回のシミュレーションで落石が停止した位置の度数分布を示している。

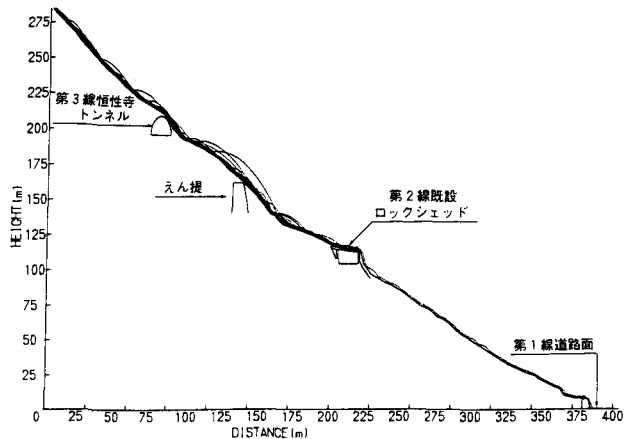


図-3 シミュレーションによる落下軌跡の例

### 3. 落下軌跡の調査

図-5は落下巨岩の痕跡調査結果から推定した落下軌跡を示している。落石発生源近くの斜面(発生源~第3線のトンネル上)の傾斜は約50°で比較的一様な斜面であり、薄く崖すいが堆積している。巨岩の落下経路は、巨岩の滑りおよび回転により斜面が削られており、落下経路を容易に推定することが可能であった。また、トンネル上近くでは崖すいが堆積しており、落石が衝突し、跳ね返った様子が明瞭に判断することができた。

第3線から第2線にかけては、U字形の谷を形成しており、第2線のロックシェッド付近で崖すいが堆積している部分を除いて露岩となっている。落石が第3線のトンネル上を通過した後、上から見てU字形の谷の右側斜面に衝突しながら落下した後、大きく左側斜面に移行して衝突している。この間、落石は約60m飛行し衝突により十数m<sup>3</sup>の斜面崩壊を引き起こして第2線のロックシェッド上へ衝突している。

座標値

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	0.0	15	114.9	56.3	30	237.0	131.3
1	18.0	0.1	16	120.5	61.7	31	243.4
2	21.0	7.5	17	123.7	64.0	32	245.8
3	29.7	7.6	18	127.7	65.8	33	255.1
4	37.8	9.8	19	132.5	70.0	34	256.2
5	41.9	14.7	20	140.6	73.9	35	264.3
6	44.9	15.7	21	154.4	84.5	36	265.5
7	56.3	21.8	22	160.3	88.0	37	276.8
8	59.6	24.0	23	165.1	90.0	38	282.4
9	64.9	25.8	24	175.2	96.1	39	294.7
10	77.7	31.8	25	180.2	103.1	40	299.1
11	95.1	43.0	26	182.8	113.0	41	302.9
12	105.0	49.5	27	201.6	116.0	42	307.6
13	107.9	51.7	28	215.5	123.3	43	310.3
14	112.0	54.1	29	220.2	125.3	44	312.0
						45	315.7
						46	317.9
						47	319.7
						48	321.9
						49	324.3
						50	341.5
						51	343.5
						52	351.0
						53	356.9
						54	363.6
						55	373.2
						56	382.1
						57	386.5
						58	400.0
						59	404.1
							287.9

標高 (m)

— 1000

— 950

— 900

— 850

— 800

— 750

— 700

第1線

第1線

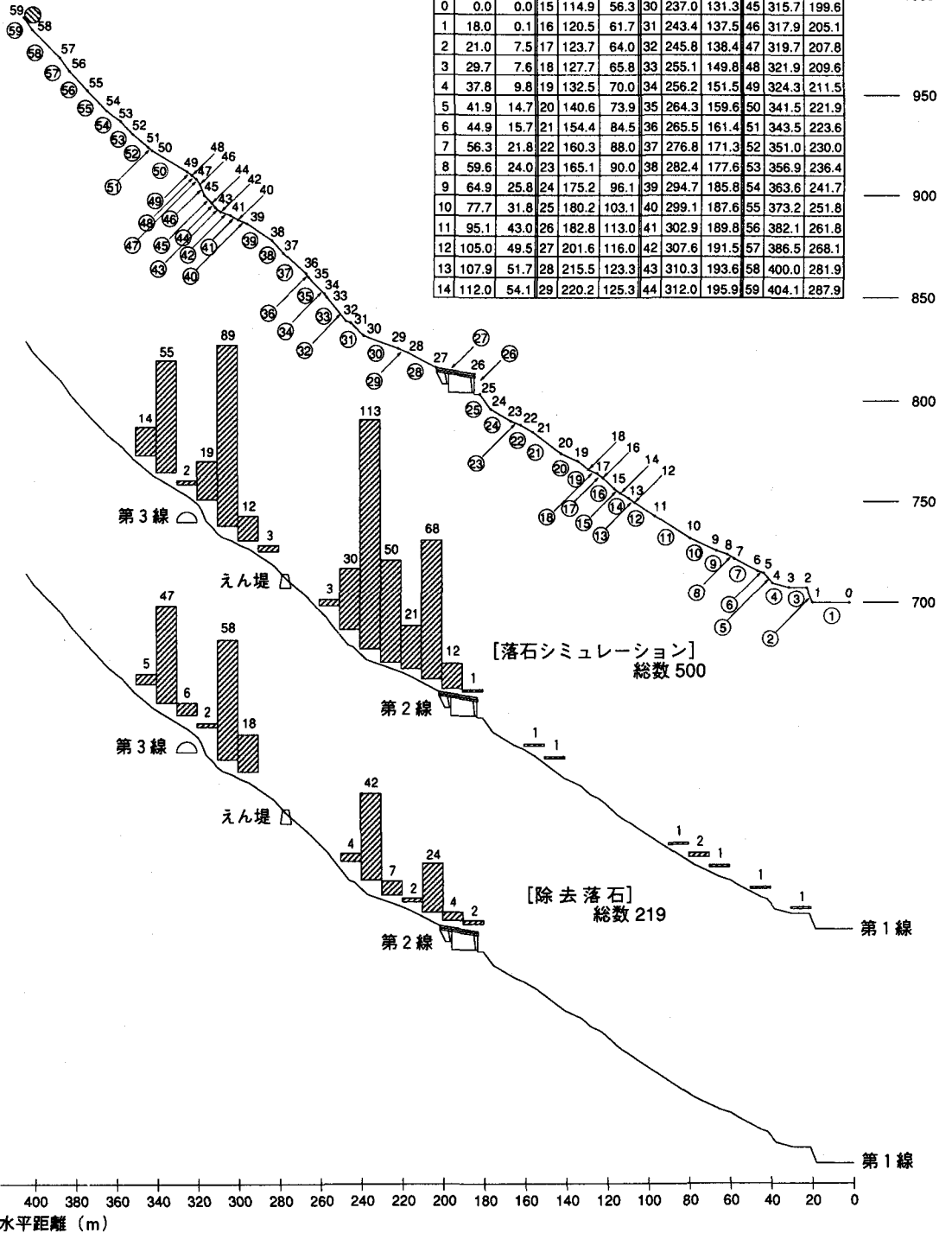


図-4 モデル化した斜面と停止落石の度数分布

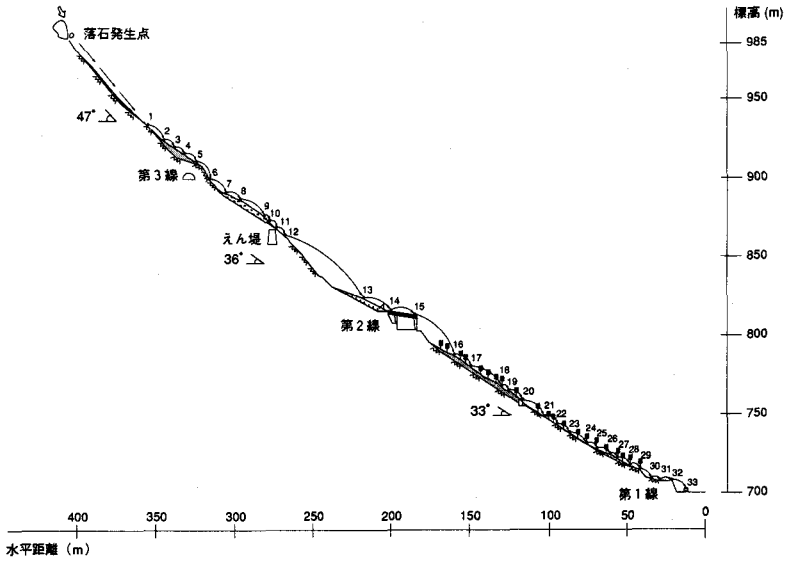


図-5 落下巨岩の痕跡調査結果

ロックシェッド上への衝突は2回であるが、1回目は山側柱上近くで、2回目は谷側柱近くで衝突しており、幸いロックシェッドには被害が見られなかった。

第2線から第1線にかけては、やはりU字形の谷を形成しているが、崖すいが堆積し、その上に上方から落下してきたと思われる巨岩が無数に散在している。また、その間に小さい樹木が繁茂している。

落下巨岩は第2線のロックシェッド上から大きく跳躍した後、第1線まで小さな跳躍を繰り返している。跳躍高さは樹木の痕跡からあまり大きくないことが判明した。第1線の山側のコンクリート擁壁は、巨岩により部分的に破壊しており、この時点でもなおかなりのエネルギーを有していたことがわかった。

#### 4. 除去落石の停止位置調査

今回の巨岩の落下により、設計荷重を大幅に上回る衝撃力が第2線に設置されたロックシェッドに作用することが予想されなんらかの防護対策の必要性が生じてきた。防護対策に当たっては、当面不安定な浮石の除去が必要である。

このため、平成4年7月に合計3回の発破作業を行なった。落下した岩塊は、第2線のロックシェッド上の木製の川倉の前面まででほとんどが停止し、ロックシェッド上に停止した最大径が40cm程度のものが数個、ロックシェッドを飛び越した小さ

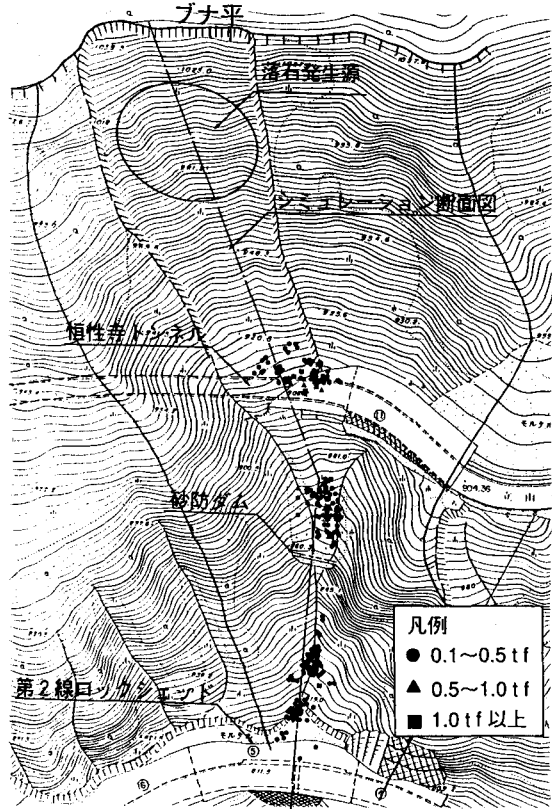


図-6 岩塊の停止位置

い岩塊が数個程度認められた。発破により落下した岩塊は、最大で20tf程度であり、ロックシェッド上の川倉で停止した。

発破作業後、浮石の安定を待つて落下した岩塊の停止位置の調査を行なった。発破により落下した岩塊は、表面の色から容易に識別が可能であった。

図-4は落下した岩塊の比較的大きいもの219個の停止位置の分布を示したものである。ほとんどの落石は、第3線のトンネル上の緩斜面の崖すい上、第2線と第3線の間にある砂防ダム上方の緩斜面部および第2線のロックシェッド上の緩斜面部で停止している。

## 5. シミュレーション結果との比較

1. 0~4.0tfの重量の落石を対象とした係数を用いた数値シミュレーション結果と、巨岩の落下位置の調査および除去落石の停止位置調査結果を比較すると、以下のことがいえる。

(1)シミュレーションより得られた巨岩の最大到達位置は第1線の山側擁壁上近くまで達しており、巨岩の第1線への落下の予想が可能であった。

(2)シミュレーションによる運動形態は、落下した巨岩の痕跡調査から得られた斜面途中での運動形態とよく一致している。

(3)シミュレーションにより停止する落石は、第3線のトンネル上より上方の緩斜面部、第3線と第2線の間にある砂防ダム上方および第2線のロックシェッド上方の緩斜面部で多く、除去落石の停止位置調査結果とよく一致している。

## 6. あとがき

立山有料道路(県道区間を含む)の1年は、美女平~室堂区間の4月25日の営業開始をめざして3月中旬から除雪が始まり、多いところで15mの壁となる全国的に有名な雪の廊下での営業開始となる。5月中旬には全区間が開通し、11月30日まで220日間で営業される。

昭和46年4月に設立された富山県道路公社が立山有料道路の維持管理を行なっているが、桂台~美女平間の落石対策には、特に頭を悩ましているところである。

本報告では、平成4年5月16日に発生した巨岩が、高低差約290m、水平距離約400m、斜面長約515mを落下してきたことにもない、痕跡調査からその落下経路および落下挙動に対する調査・検討を行ない、また、発破によって除去された岩塊の落下位置の調査も行なって、それらの結果と落石の数値シミュレーション結果の比較を行ない、両者がよく一致することを示した。

対象とした落石は、その重量および落下距離とも一般の落石対策工で検討される規模をはるかに越えており、このような大規模の落石に対する防護工設置の検討方法がこれまでは不明であった。

本報告では、このような大規模の落石に対しても、1.0~4.0tfの重量の落石を対象とした係数を用いた数値シミュレーションにおいても、20~40tfの巨岩の落下挙動をシミュレートすることが可能であることを示した。落石対策工には各種のものが考えられるが、どのような対策工の設計に際しても、落石のエネルギー評価は欠くことのできないものである。

本報告がこのような大規模の落石対策の一助になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，1983年7月。
- 2) 吉田博，右城猛，榎谷浩，藤井智弘：斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価，構造工学論文集，Vol.37A，1991年3月。
- 3) 日本道路公団東京支社，建設企画コンサルタント：落石実験調査報告書，1973年11月。