

I-32

片持式覆工の衝撃応答性状

室蘭工業大学 正員 岸 徳 光
 北海道大学 正員 三 上 隆
 室蘭工業大学 正員 菅 田 紀 之
 室蘭工業大学 学生員 竹 村 瑞 元

1. はじめに

海岸地域や急峻な山岳地域の多い我国では、土砂崩壊、落石等により道路網が寸断されるなどの交通障害を未然に防ぐために各種の落石覆工が設置されている。このような構造物は落石対策便覧¹⁾に基づいて衝撃力や荷重分布幅、エネルギー吸収量を算定して設計が行なわれている。しかしながら、覆工の構造計算に関しては同便覧でも特別な規定もなく、実務では二次元の静的構造解析(ラーメン構造)に基づいて設計が行なわれ、覆工の動特性あるいは三次元的な効果が設計に反映されていないようである。このような観点から、著者等は箱型や門型、L型の覆工に関する二次元、三次元の動的な応答性状についての検討を試み、従来までの解析法を用いた合理的な設計を可能とするため、有効幅の概念を導入して構造物の動特性と三次元効果を考慮する方法を検討している²⁾。

一方、落石覆工の構造型式は箱型、門型、L型が主流を占めているようであるが、景観の問題等により片持式の覆工も設計されているようである。しかしながら、このような構造型式に対する落石規模の衝撃荷重載荷の動特性に関する検討は未だ行なわれていないようである。片持構造型式の場合、門型やL型よりも支分部への応力集中度が大きく、安全性に関する十分な配慮が必要であると考えられる。

本論文では、片持式覆工を合理的に設計するための基礎資料を得ることを目的とし、片持型式を基本構造として、自由辺を補剛する場合や、アーチ形状にした場合に関して落石規模の衝撃荷重が載荷する場合の三次元的な動的挙動の検討を行なった。数値解析は対辺単純支持、一辺固定、一辺自由とする片持式覆工モデルに有限帯板法³⁾を適用して立体的に動的応答解析を行っている。本解析に用いられる有限帯板法は面内変形に関しては線形、面外変形に関しては三次放物線関数を仮定して定式化されたものである。

表-1 解析ケース一覧表

	Type-1	Type-2	Type-3
Case-1	$X = 0m$	$X = 1m$	$X = 2m$
Case-2	$f = 1m$ $X = 0m$	$f = 2m$ $X = 0m$	$f = 2m$ $X = 2m$

2. 解析モデルおよび材料定数

片持式ロックシェッドの形状効果を検討するため、ここでは一対辺単純支持、一辺固定、一辺自由支持の片持平板およびアーチ形状を有する構造を基本にして、以下のような解析ケースを考えた。

Case-1: 自由辺部に補剛桁を取り付け、その桁高を変化させた場合

Case-2: 幅員方向にアーチ構造とし、補剛桁を自由辺部に取付けた場合

解析モデルはいずれも幅員を10m、板厚を1m、スパン長を30mとしている。図-1に各Caseの構造断面形状を、表-1に本研究で検討を行った各CaseのTypeを一覧にして示している。なお、覆工の材料定数は $E = 3 \times 10^6 tf/m^2$ 、 $\nu = 0.2$ 、

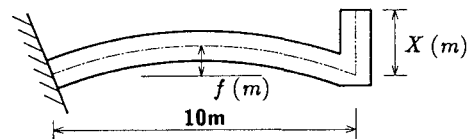
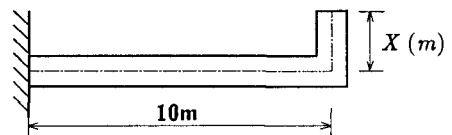


図-1 構造断面形状

$\gamma = 2.5 \text{ tf/m}^3$ である。本研究では緩衝材の質量を無視した形で検討を行なった。衝撃荷重は、吉田等³⁾が応答解析に用いた中間的な入力波分布モデルを基本として、これと相似な時間分布を仮定し、荷重載荷時間 $T=35 \text{ msec}$ 、 70 msec の二種類の場合について検討している。なお、最大衝撃力は 50 tf に基準化している。また、覆工への荷重分布幅は緩衝材として厚さ $h = 90 \text{ cm}$ の敷砂を仮定し、落石対策便覧に従って $2h$ としている。図-2 に荷重の分布幅を、図-3 に $T = 35 \text{ msec}$ の場合における衝撃荷重の時間方向分布を示した。表-2 には、各解析モデルの軸方向次数が $m = 1, 3$ 、断面方向モード次数が 1 次～3 次の固有周期の一覧を示している。解析はいずれもスパンの中央部、および自由端に集中荷重が作用する場合について行っており、動的応答値は、静的荷重載荷時の最大応答値に対する比で整理している。

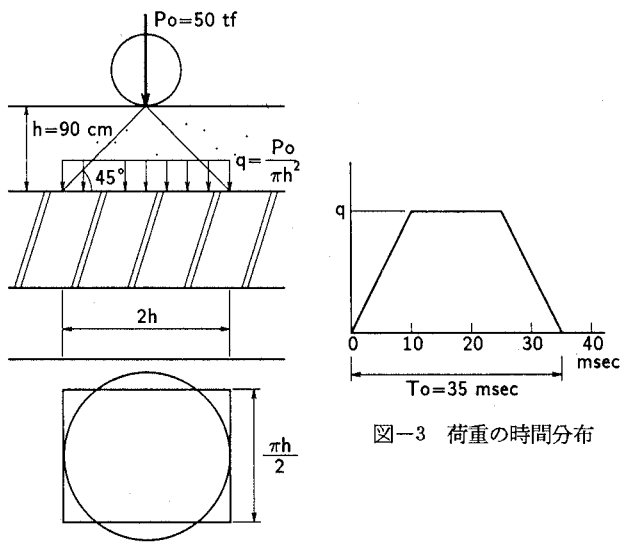


図-2 荷重の緩衝材による分散

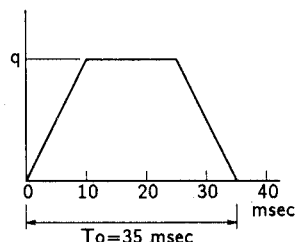


図-3 荷重の時間分布

3. 数値解析結果および考察

表-2 固有周期一覧表

3.1. Case-1 の場合

図-4 は Case-1 スパン中央部の自由端および中央部に荷重載荷した場合の各点の正、負方向最大応答値を結んで求められる分布図を、曲げモーメントおよびせん断力について示している。値は静的に載荷した場合の最大応答値に対する比で示している。図中の () が基準値である。

表-2 に示しているように、各Typeの最

低次固有周期は $135 \sim 150 \text{ msec}$ であるため、いずれの場合も $T=70 \text{ msec}$ の場合のほうが $T=35 \text{ msec}$ の場合よりも大きな応答値を示している。曲げモーメント分布に関しては、自由端載荷時の場合、固定端部ではいずれの Type とも $T=35 \text{ msec}$ で負のモーメントが 1.0、正のモーメントが 0.8 前後の値となっており、 $T=70 \text{ msec}$ では負のモーメントが 1.60、正のモーメントが 1.3 ～ 1.4 の値となっている。Type-2、Type-3 の場合には自由辺部に補剛桁があるためにその辺が弾性支持の状態となり、載荷点近傍で 0.30 ～ 0.47 の正の応答倍率を示している。中央点載荷の場合、固定端で負のモーメントは 1.00 前後、正のモーメントは 0.45 ～ 0.65 程度の値を示している。また、載荷点部では 0.6 ～ 0.8 の正のモーメントを示している。

せん断力に関しては、いずれの場合も最大応答値は載荷点近傍で 1 前後の値を示しており、ほぼ静的解析に近似していることがわかる。補剛桁部の応答倍率は自由端載荷時の場合に Type-3 のほうが Type-2 より 3 倍程度大きくなっている。固定端における応答は、自由端載荷時の場合は正負ほぼ類似の値を示しており、衝撃荷重入力によってほぼ同程度の交番応力が励起されていることがわかる。

軸方向次数		$m = 1$			$m = 3$		
断面方向モード次数		1 次	2 次	3 次	1 次	2 次	3 次
Case-1	Type-1	170.3	33.4	16.2	60.1	23.3	10.9
	Type-2	178.1	36.4	16.4	54.1	24.0	11.7
	Type-3	162.2	39.6	18.1	40.8	23.0	14.0
Case-2	Type-1	163.4	37.4	16.3	51.6	23.4	11.5
	Type-2	147.8	47.3	17.6	44.0	22.9	13.1
	Type-3	160.7	49.1	19.6	37.8	21.4	13.8

(msec)

図-6 は Type-1、3 の固定端に関する正、負の曲げモーメント、およびせん断力の影響線を静的解析と比較して示している。曲げモーメントに関して言及すると、図より $T=70\text{msec}$ の場合に $T=35\text{msec}$ の場合および静的解析結果よりも大きな値を示していることがわかる。また、Type-1 と Type-2 を比較すると、 $T=35\text{msec}$ の場合は静的解析と類似の分布を示している。特に Type-3 の場合は $13 \sim 16\text{tfm/m}$ とほぼ一定の値を示しているようである。Type-3 は補剛桁の効果により Type-1 の 60% 前後に低減されることが明らかになった。一方、せん断力に関しては、Type-1、3 とともに荷重継続時間によらず、ほぼ一樣な結果となっている。最大値は固定端載荷時に発生し、その値は Type-3 が Type-1 より 20% 程度低減されているようである。

以上より、補剛桁を自由端に設置することにより、固定端のモーメントを効果的に低減することができ、Type-1 に対して Type-2、Type-3 の場合は、それぞれ 0.85、0.60 となることが明らかになった。

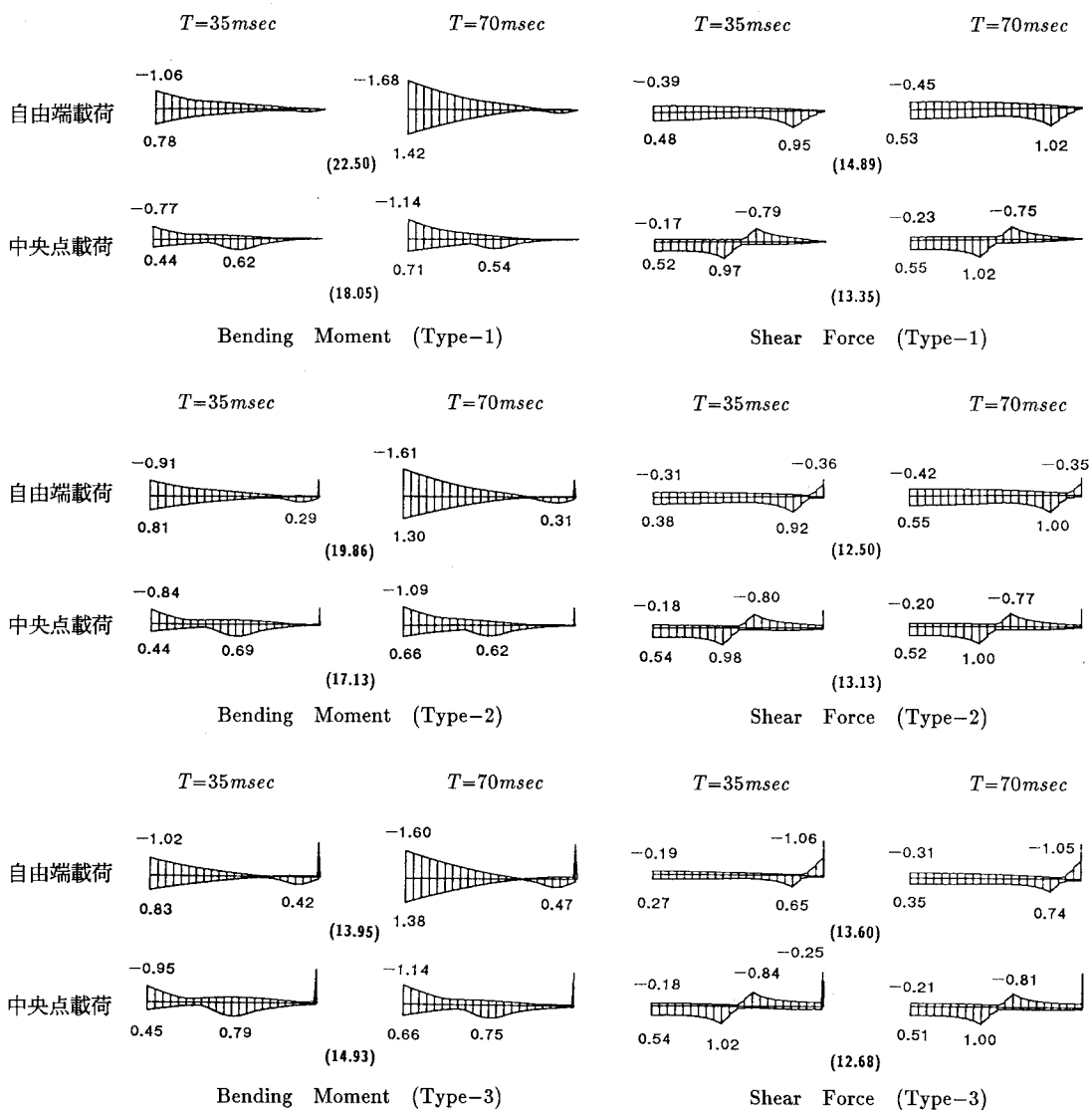


図-4 Case-1の場合の曲げモーメントおよびせん断力の最大応答分布

3.2. Case-2 の場合

図-5 は Case-2 における各点の最大応答分布図を示している。値は図-2 と同様、静的載荷時の最大応答値に対する比で示している。() はその基準値である。

まず、曲げモーメントに関して検討を行なう。自由端に載荷している場合について検討すると、Type-1 の場合は正、負モーメントとも $T=35msec$ 、 $T=70msec$ において 1 以上で、特に $T=70msec$ の負のモーメントは 2 以上となっており、自由端方向に向かって徐々に小さくなっている。一方、Type-2、3 の $T=70msec$ の場合には、固定端よりクラウン部にある値が大きくなっているのがわかる。その応答値は、1.4 ~ 1.5 程度である。中央点載荷の場合には、載荷点部のモーメントが Type-2、3 では 1.25 ~ 1.40 程度となっているのに対し、Type-1 では 0.7 ~ 0.8 と 1 より小さな値となっている。

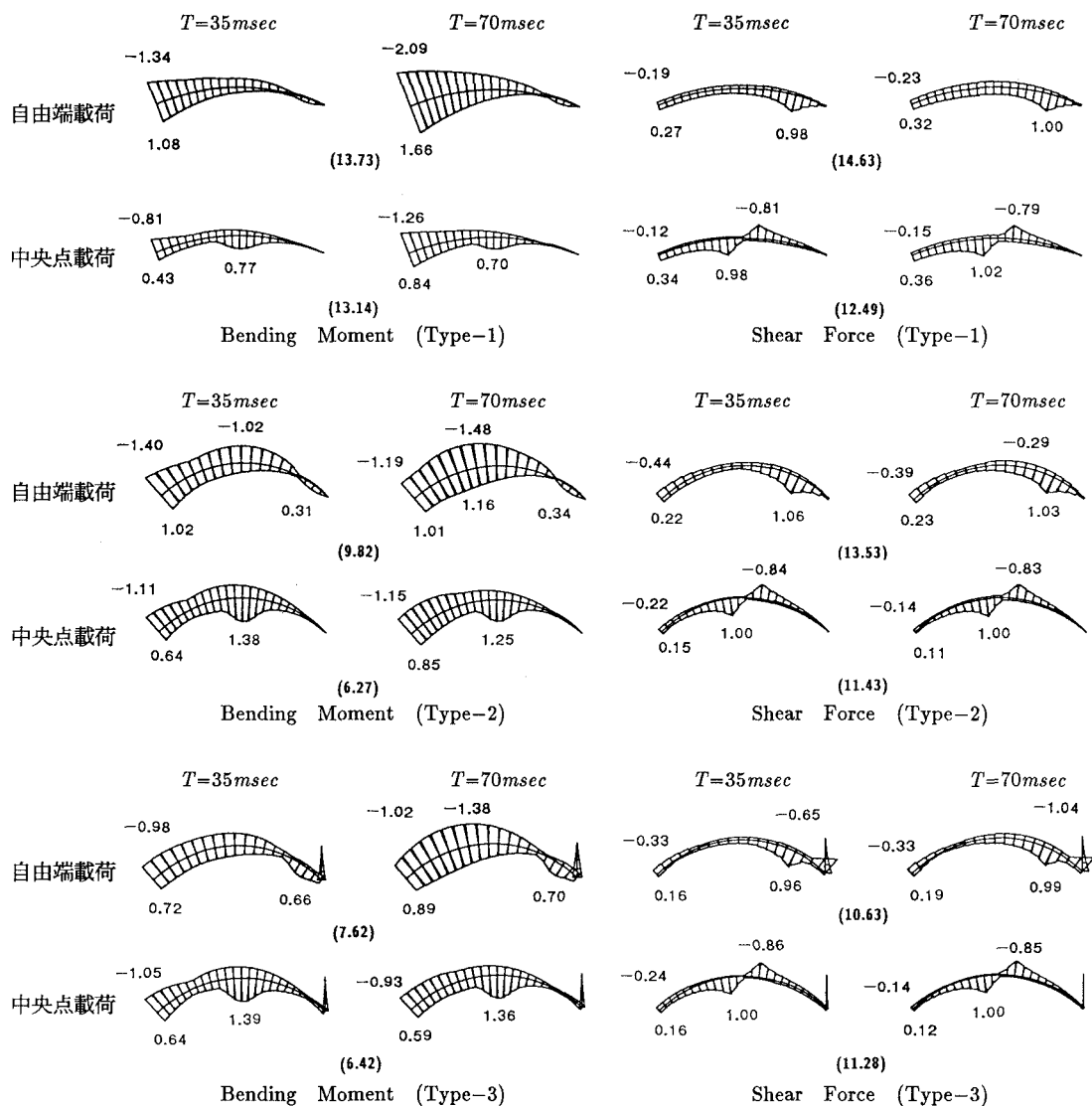


図-5 Case-1の場合の曲げモーメントおよびせん断力の最大応答分布

せん断力分布に関しては、Case-1と同様、載荷点部で約 1 となり、載荷点より離れるにつれ徐々に小さくなっているようである。従って、固定端では最大でも -0.45 程度 (Type-2、 $T=35\text{msec}$) である。

基準値を乗じた真の応答値のついて検討を行うと、 $T=70\text{msec}$ の中央点載荷時の曲げモーメントを除き、他の場合は曲げモーメント、せん断力ともに Type-3 が最も小さな応答を示しているようである。特に自由端載荷時には、曲げモーメントの場合、Type-3 で Type-1 の $1/2.5 \sim 1/2.7$ 、Type-2 の $1/1.8 \sim 1/1.4$ 程度の応答値に低減していることがわかる。一方、せん断力に関しては、曲げモーメントと比較して低減の度合いは小さく、Type-3 は Type-2 の $1/1.3 \sim 1/1.4$ 程度である。中央点載荷時は自由端載荷時ほど補剛桁の効果が現われず、Type-3 は Type-2 とほぼ類似の応答値を示しているようである。

図-7 は Type-2 と Type-3 の自由端に関する断面力影響線を示している。曲げモーメントに関しては、固定端近傍では両 Type と類似の値を示しているようであるが、他の領域では Type-3 のほうが小さな値となっており、補剛桁が曲げモーメント低減に効果的に作用しているのわかる。せん断力に関しては、Case-1 同様、Type-2、3 で type の違いによる差は少ないようである。

4. まとめ

片持式覆工の合理的な構造型式決定のための基礎資料を得ることを目的として、片持平板式を基本型式として、自由辺に補剛桁を設置した場合や、片持アーチ型式を基本型式と

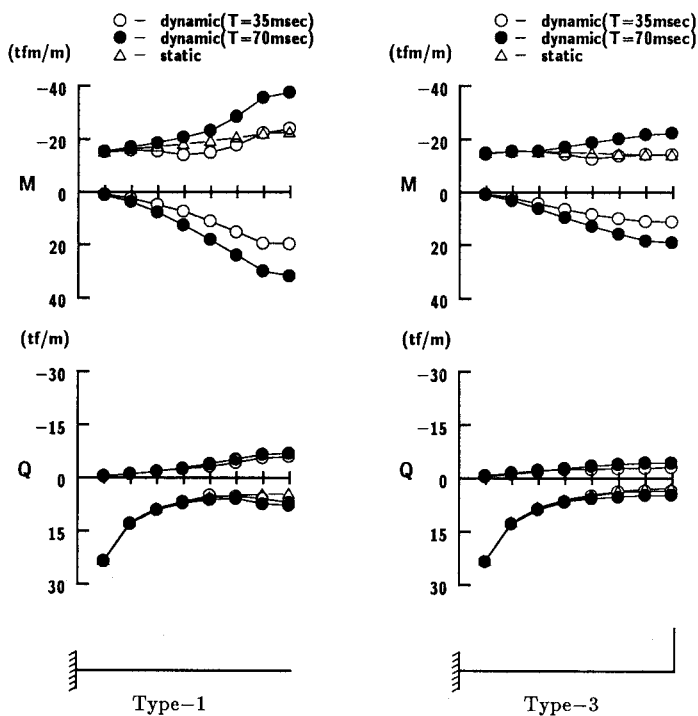


図-6 Case-1の場合の曲げモーメントおよびせん断力の影響線

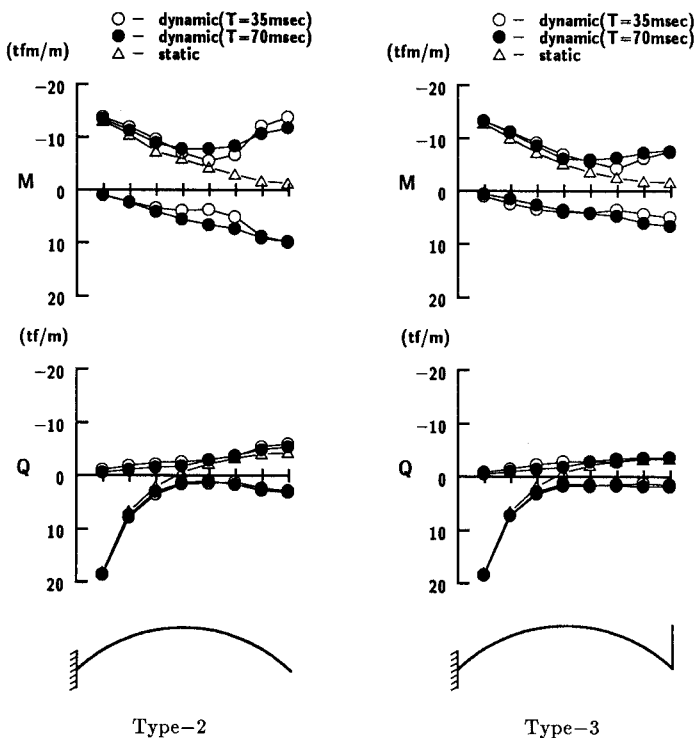


図-7 Case-2の場合の曲げモーメントおよびせん断力の影響線

してクラウン部を変化させた場合等について、衝撃荷重載荷による応答解析によって検討を行なった。本論文で検討した範囲で得られた結果を整理すると、

片持平板型式の場合：

- 1) 静的荷重載荷に対する最大応答倍率は、いずれの Type とも曲げモーメントで 1.6、せん断力で 1.0 前後の値となっている。
- 2) 絶対応答値に関しては、補剛桁 2m を設置することにより、自由端載荷時の固定端において、曲げモーメントを 40% 程度低減でき、補剛桁は曲げモーメントの低減に効果的に作用する。

片持アーチ型式の場合：

- 3) Type-1、 $T=70\text{msec}$ の場合曲げモーメントの最大応答倍率が 2 以上の値となっているが、他の Type では 1.5 以下となり、片持平板型式より小さくなっている。せん断力の場合は、片持平板型式と同様 1 前後となっている。
- 4) クラウンが高いほど、曲げモーメント分布が均等化する傾向にあることが明らかになった。また、補剛桁を設置することにより平板型式同様、曲げモーメントを効果的に低減することができることがわかった。
- 5) アーチ型式の固定端部の曲げモーメント影響線は平板型式と異なり、固定端近傍で最大となっている。

Case-1、2 を通じて最も曲げモーメントを低減できる構造は、Case-2 の Type-3 である。せん断力に関しては全ケースに大きな差異はなく、静的載荷時と同程度であることが明かとなった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.
- 2) 菅田紀之・岸 徳光・中野 修・尾崎 諒：覆工構造物の耐衝撃設計計算に関する簡易手法の一試案、土木学会第 47 回年次学術講演会講演概要集第 部、pp1146~1147、1992.9.
- 3) 吉田 博、榊谷 浩、岡 衛：落石覆工屋根上への落石による衝撃荷重特性、土木学会論文集、第 362 号、pp.461 ~ 470、1985.10.