

I-19 片持式覆工の衝撃挙動に及ぼす荷重分散幅の影響

室蘭工業大学 正員 岸 徳 光
 北海道開発局 正員 中 野 修
 北海道大学 正員 三 上 隆
 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、落石等による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昭和58年度版の落石対策便覧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においても特別な規定がなく、実務では二次元の静的骨組解析(ラーメン構造)に基づいて設計が行われており、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^{2), 3)} 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⁴⁾。

一般に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。道路が岩壁に接近して設けられている場合には、山(岩)側側壁を岩壁にアンカーし、側壁の剛性を増加させることにより、片持式の構造形式にすることも可能である。このような片持式の構造においても、合理的な断面設計を行うためには覆工の動特性や三次元的な効果を把握しなければならない。

本論文では、片持式RC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、自由辺部を補剛する場合や、覆工頂版に作用する荷重の分散幅を変化させた場合について三次元的な動的挙動解析を行い、荷重分散幅が覆工の動特性に与える影響や断面形状効果に関して検討を行った。数値解析は一对辺単純支持、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。

2. 解析モデルおよび材料定数

一般に片持式覆工は、前述のように山(岩)側側壁が岩盤にアンカーされているため、衝撃荷重載荷時の側壁の応答は頂版部のそれに比較して無視し得るほど小さいものと考えられる。本研究では、頂版部の動的挙動に焦点を絞って検討を行うものとし、側壁部を無視した片持構造にモデル化している。

本解析で用いた覆工の断面形状を図-1に、解析モデルの一覧および要素分割数を表-1に示した。解析モデルは各タイプとも幅員を10m、板厚を1m、スパン長を30mとする単純片持構造とし、スパン中央部の応答値にのみ注目している。なお覆工は、全てRC製を前提としており、その材料定数は弾性係数を $E=3 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ 、ポアソン比を $\nu=0.2$ 、単位体積重量を $\gamma=2.5 \text{ tf/m}^3$ としている。

衝撃荷重は、荷重分散幅が覆工の動特性へ与える影響を検討するため、図-2に示すような矩形分布を仮定し、表-2に示した3ケースに関して解析を行っている。ケース2は落石対策便覧に従い、緩衝材として90cm厚の敷

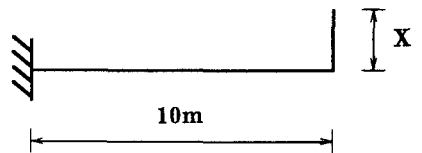


図-1 構造断面形状

表-1 解析ケース一覧

	X (m)	要素分割数
タイプ1	0	20
タイプ2	2	20

砂を仮定した場合の荷重分散である。本研究では弾性解析法を採用していることより、いずれのケースとも最大衝撃力は 50 tf に基準化している。時間方向分布に関しては、敷砂緩衝材を仮定し、実験結果に基づいて図-3 のような荷重継続時間 $T = 35\text{msec}$ の台形分布を基本分布と仮定した。また、他の緩衝材を用い荷重継続時間が長くなる場合も想定し、図-3 と相似な $T = 70\text{msec}$ の場合についても検討を行っている。荷重載荷位置は、スパン中央部の断面中央部、および自由端部の 2 箇所としている。解析は、Fourier 級数の項数を 51 項、全固有値を考慮するモード法を採用し、減衰定数を全てのモードに関して $h_r = 5\%$ と仮定して行っている。実際の覆工では頂版上に緩衝材として敷砂を用いているが、本解析ではその質量を無視した形で検討を行っている。なお、緩衝材の質量は、RC 箱型覆工に関する動的解析結果³⁾より、覆工の動特性に大きな影響を与えないことが明らかとなっている。表-3 には参考のために各タイプに関する低次固有振動周期を一覧に示している。なお、表中の軸方向は道路軸方向を意味する。

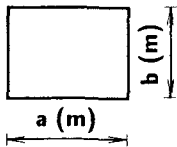


図-2 載荷荷重分布図

表-3 荷重載荷幅一覧

	a (m)	b (m)
ケース 1	1.0	1.0
ケース 2	1.8	1.41
ケース 3	3.0	3.0

3. 数値解析結果および考察

本研究では、荷重分散幅が覆工の動特性に与える影響に関する検討をスパン中央部の断面方向の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y を用いて行なう。数値解析結果はスパン中央部の断面各点における正・負方向の最大応答値を結んで得られる包絡線の形で整理している。

図-4 ~ 7 は、断面各点における M_y および Q_y の正および負方向の最大応答値に関する包絡線分布を示している。表-4, 5 には最大応答値を示す可能性のある固定端や載荷点近傍に着目した場合の実最大応答値の一覧を示している。表-3 に示しているように各タイプの最低次固有周期は 160 ~

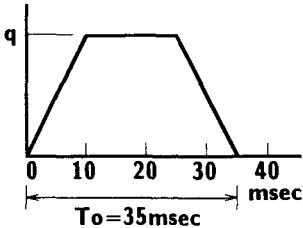


図-3 荷重の時間方向分布

170 msec であるため、いずれのタイプとも荷重の分散幅によらず $T = 70\text{msec}$ の場合の結果が $T = 35\text{msec}$ の場合よりも大きな応答を示している。

・自由端載荷時の場合

タイプ 1 に関して言及すると、

曲げモーメント分布に関しては正・負ともに荷重分散のケースによらず、ほぼ同様の応答分布を示し、応答値は荷重分散幅が小さなケースほど大きい。最大応答は固定端部で生じ、負の最大値は $T = 70\text{msec}$ の場合が大きくなっている。その値は、ケース 1 で -39.6 tfm/m 、ケース 2 で -37.4 tfm/m 、ケース 3 で -33.7 tfm/m である。また、正の最大値は $T = 70\text{msec}$ の場合にケース 1 で 33.7 tfm/m 、ケース 2 で 31.9 tfm/m 、ケース 3 で 28.8 tfm/m である。せん断力分布に関しては、各ケースともほぼ同程度の負の応答を示しており、その最大応答値は固定端で発生し $6 \sim 7\text{ tf/m}$ 程度である。しかしながら、正の応答は荷重載荷点において各ケースで異なり、荷重分散幅が小さいケースほど大きな応答を示す。その最大応答値も $T = 70\text{msec}$ の場合に大きく、ケース 1 で 24.1 tf/m 、ケース 2 で 15.2 tf/m 、ケース 3 で 8.6 tf/m となっている。

タイプ 2 に関して言及すると、曲げモーメントの応答は荷重載荷点での正の応答がケースによって異なるほかは、正・負ともにほぼ同様の応答分布を示している。荷重載荷点で大きな正の応答を示すのは、自由辺に設置してある補剛桁により弾性支持状態となるためと考えられる。その最大値はケース 1 で 6 tfm/m 程度の応答を示している。曲

表-3 固有周期一覧表

軸方向モード次数	$m = 1$			$m = 3$		
	1 次	2 次	3 次	1 次	2 次	3 次
断面方向モード次数						
タイプ 1	170.3	33.4	16.2	60.1	23.3	10.9
タイプ 2	162.2	39.6	18.1	40.8	23.0	14.0

(msec)

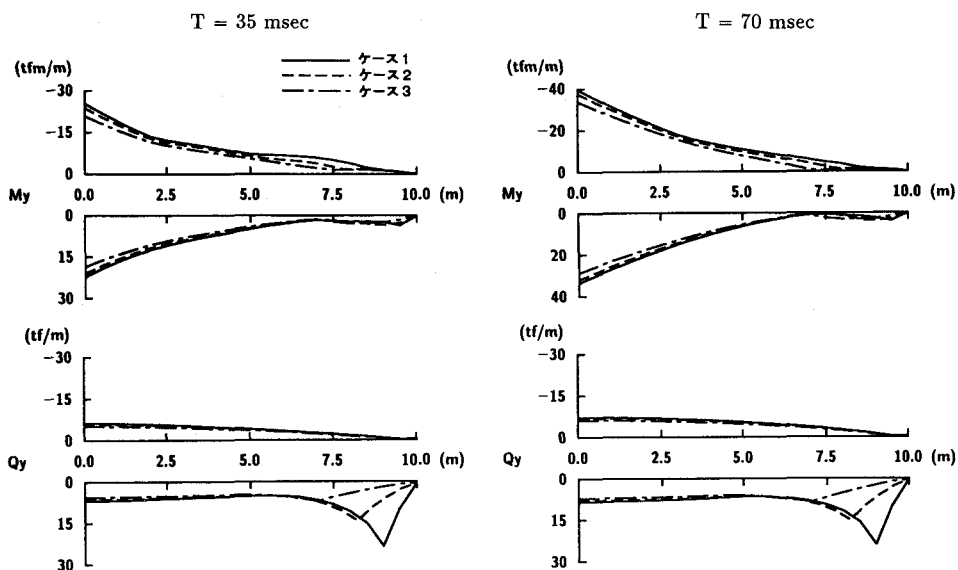


図-4 自由端載荷におけるタイプ1の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布

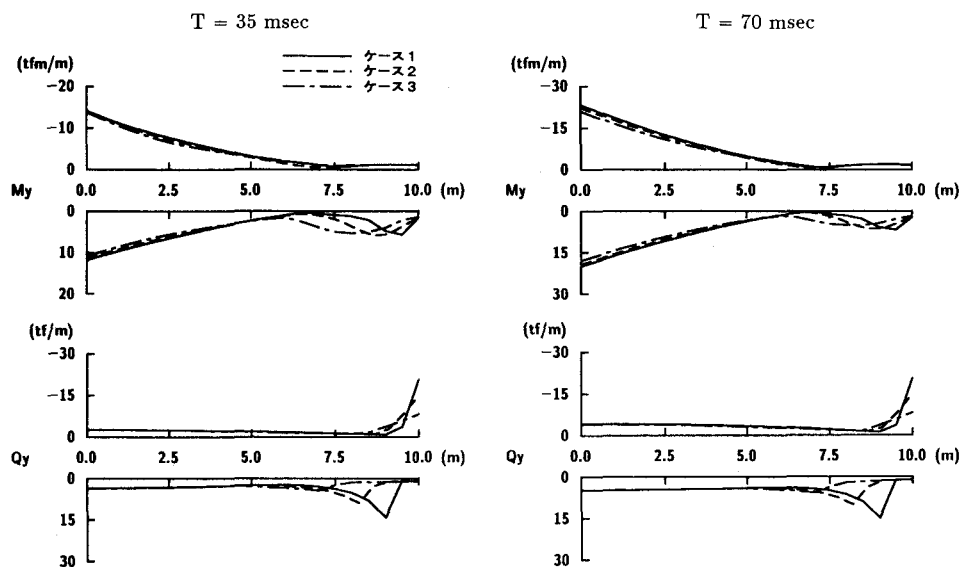


図-5 自由端載荷におけるタイプ2の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布

げモーメントの最大応答は正・負ともに固定端で生じ、その応答値は $T = 70$ msec の場合に大きく、正の応答がケース1で 20.0 tfm/m、ケース2で 19.3 tfm/m、ケース3で 17.9 tfm/m であり、負の応答がケース1で -23.3 tfm/m、ケース2で -22.3 tfm/m、ケース3で -21.0 tfm/m である。せん断力の最大応答は正・負ともに荷重載荷点で生じ、 $T = 70$ msec の場合に正の応答がケース1で 15.0 tf/m、ケース2で 10.1 tf/m、ケース3で 5.8 tf/m であり、負の応答は $T = 35$ msec の場合に大きく、ケース1で -20.1 tf/m、ケース2で -14.4 tf/m、ケース3で -8.3 tf/m である。以上より、荷重分散幅が小さなケースほど応答は大きくなる傾向にあることがわかる。

構造タイプで比較すると、タイプ2は曲げモーメントおよびせん断力ともタイプ1の約 60 % 程度に低減されてお

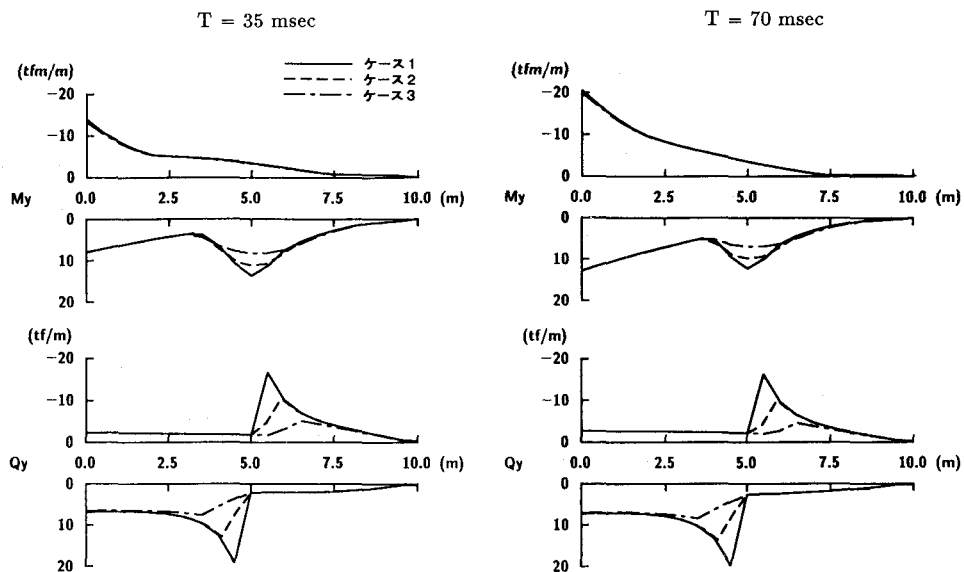


図-6 中央点載荷におけるタイプ1の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布

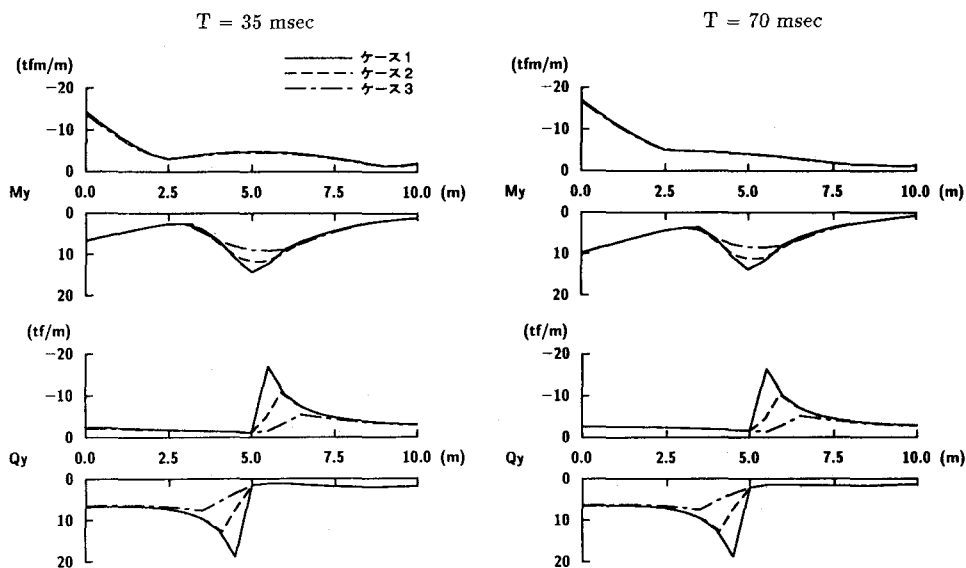


図-7 中央点載荷におけるタイプ2の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布

り、補剛桁は曲げモーメントおよびせん断力の低減に効果的に作用することがわかる。

・中央点載荷の場合

中央点載荷時の場合、各ケースとも荷重載荷点以外で曲げモーメント分布およびせん断力分布ともにほぼ同程度の応答値を示しているが、荷重載荷点では、荷重分散幅が小さいケースほど大きな応答を示し、特にケース1の正の曲げモーメントの最大応答は固定端部ではなく荷重載荷点で生じている。固定端での曲げモーメントの最大応答は $T = 70$ msec の場合に生じ、タイプ1で各ケースとも正の応答が $12 \sim 13$ tfm/m、負の応答が $-20 \sim -21$ tfm/m、タイプ2で各ケースとも正の応答が $9 \sim 10$ tfm/m、負の応答が $-16 \sim -17$ tfm/m であり、荷重載荷点で正の最大応答

表一４ 曲げモーメント My の実最大応答値一覧 (tfm/m)

		荷重載荷位置	自由端			中央点				
			荷重載荷時間		静解析結果	35msec		70msec		静解析結果
		着目点	固定端	固定端		固定端	載荷点近傍	固定端	載荷点近傍	
タイプ 1	ケース 1	正	22.22	33.72	-24.13	7.92	13.71	12.79	12.24	-18.47
		負	-25.43	-39.59		-13.94	-3.46	-20.47	-3.54	
	ケース 2	正	19.92	31.91	-22.50	7.56	11.26	12.87	9.82	-18.05
		負	-23.85	-37.43		-13.89	-3.94	-20.49	-3.55	
	ケース 3	正	18.59	28.77	-22.46	7.93	8.28	12.85	6.94	-18.05
		負	-20.86	-33.72		-13.28	-3.29	-20.00	-3.49	
タイプ 2	ケース 1	正	11.82	20.04	-13.69	6.73	14.22	9.86	13.67	-14.86
		負	-14.16	-23.29		-14.26	-4.82	-17.01	-4.09	
	ケース 2	正	11.48	19.30	-13.95	6.74	12.29	9.88	11.25	-14.93
		負	-14.16	-22.26		-14.22	-4.78	-17.01	-4.08	
	ケース 3	正	10.86	17.92	-13.76	6.64	9.05	9.77	8.42	-14.43
		負	-13.77	-20.97		-13.67	-4.51	-16.56	-3.63	

表一５ セン断力 Qy の実最大応答値一覧 (tf/m)

		荷重載荷位置		自由端				中央点					
		荷重載荷時間		35msec		70msec		静解析結果	35msec		70msec		静解析結果
				正	負	正	負		正	負	正	負	
タイプ 1	ケース 1	23.58	-6.22	24.08	-7.17	23.84	19.01	-16.81	19.70	-16.22	19.57		
	ケース 2	14.21	-5.81	15.23	-6.76	14.89	12.88	-10.50	13.61	-10.01	13.35		
	ケース 3	7.17	-5.05	8.55	-6.07	8.37	7.75	-5.18	8.44	-4.69	8.21		
タイプ 2	ケース 1	14.22	-20.67	15.01	-20.54	-19.98	18.93	-16.96	18.79	-16.41	18.79		
	ケース 2	8.80	-14.39	10.05	-14.27	-13.60	12.89	-10.69	12.74	-10.28	-12.68		
	ケース 3	4.55	-8.30	5.84	-8.18	-7.49	7.78	-5.44	7.63	-5.09	7.47		

に関しては $T = 35 \text{ msec}$ の場合に大きく、タイプ 1 では、ケース 1 で 13.7 tfm/m 、ケース 2 で 11.3 tfm/m 、ケース 3 で 8.3 tfm/m 、タイプ 2 では、ケース 1 で 14.2 tfm/m 、ケース 2 で 12.3 tfm/m 、ケース 3 で 9.1 tfm/m である。荷重載荷点におけるせん断力の最大応答は、両タイプとも同程度であり $T = 70 \text{ msec}$ の場合には、ケース 1 で正の応答が $19 \sim 20 \text{ tf/m}$ 、負の応答が $-16 \sim -17 \text{ tf/m}$ 、ケース 2 で正の応答が $13 \sim 14 \text{ tf/m}$ 、負の応答が約 -10 tf/m 、ケース 3 で正の応答が約 8 tf/m 、負の応答が約 -5 tf/m となっている。

次に、上述の結果より曲げモーメントの応答を低減できる構造と考えられるタイプ 2 に関して、荷重を自由端から固定端まで 1 要素ごとずらして載荷させ、荷重載荷位置ごとに求まる各点での最大応答値の中で最大のものを結んで求められる包絡線分布を図一 8 に示している。曲げモーメントに関して言及すると、正の応答は固定端付近では各ケースとも同程度の応答を示しているが、自由端側では荷重分布幅の小さいケースほど大きな応答を示している。また固定端における応答は $T = 70 \text{ msec}$ の場合に大きく、自由端側では $T = 35 \text{ msec}$ の場合に大きくなっている。 $T = 35 \text{ msec}$ におけるケース 1 およびケース 2 では、中央部で最大応答を示し、その応答値はそれぞれ 14.7 tfm/m および 12.3 tfm/m である。また、固定端での応答値は各ケースとも $10 \sim 12 \text{ tfm/m}$ 程度となっている。 $T = 70 \text{ msec}$ の場合、正の最大応答は各ケースとも固定端で生じ、 $18 \sim 20 \text{ tfm/m}$ 程度である。負の応答は各ケースとも同程度の応答を示し、最大応答は固定端で生じ $T = 35 \text{ msec}$ の場合で $-14 \sim -16 \text{ tfm/m}$ 、 $T = 70 \text{ msec}$ の場合で $-21 \sim -23 \text{ tfm/m}$ 程度である。せん断力に関しては、荷重載荷時間によらず正・負ともに各ケースで同程度の応答となっており、

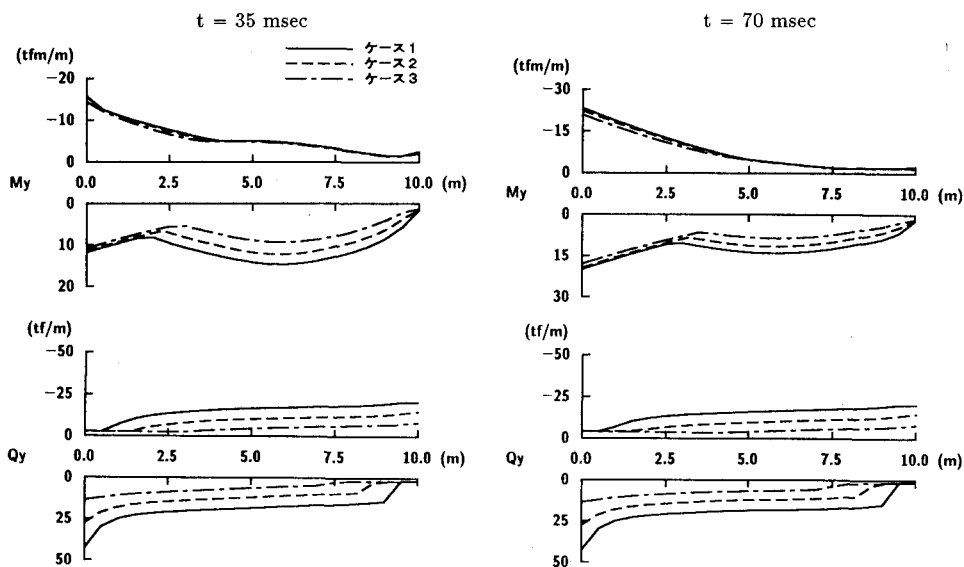


図-8 荷重を荷重移動による曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布

正の最大応答は固定端で生じケース1で 43 tf/m , ケース2で 28 tf/m , ケース3で 14 tf/m , 負の最大応答は自由端で生じケース1で -21 tf/m , ケース2で -15 tf/m , ケース3で -8 tf/m 程度である。

4. まとめ

荷重分散幅が覆工の動特性に与える影響を検討するため、二つの構造タイプに関して荷重載荷幅を3ケース設定して数値計算を行った。本研究で得られた結果を要約すると、

- 1) 曲げモーメント M_y の応答はいずれの場合も、 $T = 70$ msec のほうが $T = 35$ msec よりも大きな応答を示す。
- 2) 自由端載荷時の場合、曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y ともに荷重分散幅が小さいケースほど大きな応答を示す。特にせん断力に関しては荷重載荷点でそれが顕著である。
- 3) 中央点載荷の場合、固定端の曲げモーメント M_y の応答をのぞいて曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y ともほぼ同程度の応答となっている。
- 4) タイプ2では、曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y ともにタイプ1の60%程度に低減される。
- 5) 荷重移動による曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の最大応答分布は、荷重の分散幅が大きいほどその応答値が低減される。

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) 中野 修・岸 徳光・松岡健一・菅田紀之：剛性マトリックス法を用いた落石覆工の衝撃応答解析，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1597-1606
- 3) 菅田紀之・岸 徳光・中野 修：RC落石覆工の衝撃応答解析と断面算定に関する一考察，土木学会論文集，投稿中
- 4) 岸 徳光・中野 修・松岡健一・菅田紀之：RC覆工の衝撃応答解析手法の適応性に関する実験的検証，土木学会論文集，投稿中