

各種片持RC覆工の弾性衝撃応答特性

ELASTIC IMPACT BEHAVIOR OF VARIOUS CANTILEVER RC ROCK-SHEDS

岸 徳光* 三上 隆** 菅田紀之*** 松岡健一****

By Norimitsu KISHI, Takashi MIKAMI, Noriyuki SUGATA and Ken-ichi G. MATSUOKA

Box, portal and L-shape types of structures are generally adopted as rock-shed structure. However, when the road has been constructed close to a wall of rock, cantilever type of structure can be used as a rock-shed, if the stiffness of the side wall is increased by anchoring at the rock wall.

In this paper, to rationally design that kind of rock-shed structure, three-dimensional dynamic behaviors of cantilever RC rock-shed under impact loading are numerically analyzed by means of finite strip method. Two types of main structures are considered which are plane plate type and arch one. The effects of stiffening girder attached along with the free edge on dynamic behavior of structure are also studied.

Finally, it is shown that arch type of cantilever attached the stiffening girder along with the free edge will give the smallest cross sectional moment among all type of structures considered here.

Key Words: rock-shed, cantilever, impact load, dynamic behavior

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昭和58年度版の落石対策便覧¹⁾(以後、これを単に落石対策便覧と呼ぶ)に基づいて衝撃力や荷重分散幅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な平面骨組構造解析に基づいて設計が行なわれ、覆工の動特性あるいは立体構造としての効果が反映されていないように考えられる。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²⁾、立体構造³⁾、として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立体構造としての効果を考慮する方法を検討している⁴⁾。

落石覆工の構造形式は箱型、門型、L型が主流を占めているようである。一方、岩壁に接近して道路が設けられている場合には、山(岩)側側壁を岩壁にアンカーすることによって側壁の剛性を増加させ、片持式の構造形式にすることも可能である。しかしながら、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立体構造としての効果を把握しなければならない。

* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (050 室蘭市水元町27-1)

** 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科 (060 札幌市北区北13西8)

*** 工修 室蘭工業大学助手 工学部建設システム工学科 (050 室蘭市水元町27-1)

**** 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (050 室蘭市水元町27-1)

本論文では、片持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、道路軸方向に自由辺を補剛する場合や、頂版部をアーチ構造にする場合に対して落石規模の衝撃荷重が載荷する場合の立体構造としての動的挙動解析を行い、片持RC覆工の弾性衝撃応答特性に関する形状効果について検討を行った。

数値解析は一对辺単純支持、一边固定、一边自由とする片持覆工モデルに有限帯板法⁴⁾を適用し、立体的な動的応答解析法に基づいて行っている。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

片持覆工は一般的に、前述のように山（岩）側側壁が岩盤にアンカーされている。従って、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。

また実RC覆工は道路軸方向にブロック化して施工されているようである。箱型RC覆工に関しては、12 m を 1 ブロックとして施工されているRC覆工を用いた重錘落下による実証実験結果と数値解析結果との比較により、仮想スパン長を 30 m とする場合の解析結果と実験結果が比較的良く一致することが明かになっている⁵⁾。片持覆工と箱型覆工の動特性は互いに異なるものと考えられるが、片持覆工の動特性に関する研究成果が著者の知る限りでは見あたらないことより、本研究でも仮想スパン長を 30 m とすることとした。従って、ここでは片持覆工を道路軸方向に一对辺単純支持、道路軸直角方向に一边固定支持、一边自由とする構造にモデル化した。覆工の動特性に関する頂版の形状効果や補剛桁の効果を検討するために、数値解析は頂版の形状によって平版構造とアーチ構造に分け、各構造に対する補剛桁の桁高や、アーチ構造の場合にはクラウンの高さを変化させる形で行った。

解析モデルはいずれも表-1のような基本寸法を用いている。図-1には各構造形式の断面形状を、表-2には本研究で検討を行った構造形式のタイプを一覧にして示している。なお、覆工は全てRC製を前提として考え、表-3のような材料定数を設定した。衝撃

荷重は、緩衝材として厚さ $h = 90$ cm の敷砂を用い、落石対策便覧に従って半開角が 45° の範囲に等分布的に分散分布するものと仮定する。数値解析では簡略化のためにさらにこれを道路軸直角方向（以後これを断面方向と呼ぶ）に $2h$ とする等価な矩形分布に換算している（図-2）。落石による衝撃荷重は頂版の形状にかかわらず、垂直方向あるいは山（岩）側に傾斜角をもって作用するものと考えられる。しかしながら、断面設計においては道路軸直角

表-1 解析モデルの基本寸法一覧

幅員	10 m
板厚	1 m
スパン長	30 m

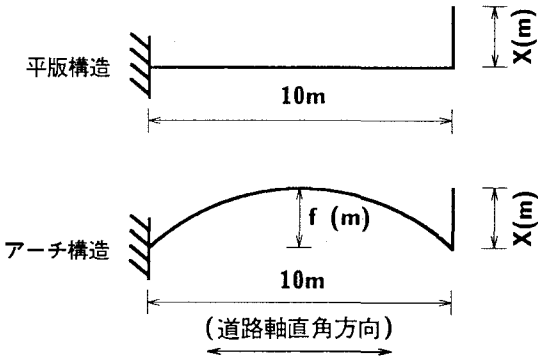


図-1 各構造形式の断面形状

表-2 解析ケース一覧

頂版構造	タイプ1	タイプ2	タイプ3
平版構造	$X = 0$ m	$X = 1$ m	$X = 2$ m
アーチ構造	$f = 1$ m $X = 0$ m	$f = 2$ m $X = 0$ m	$f = 2$ m $X = 2$ m

表-3 覆工の材料定数一覧

弾性係数	$E = 3 \times 10^6$ tf/m ²
ポアソン比	$\nu = 0.2$
単位体積重量	$\omega = 2.5$ tf/m ³

方向の曲げモーメントが重要であるものと考えられることより、設計的に安全側の曲げモーメントを評価できるように、荷重はアーチ構造形式の覆工を想定し、仮定した分布荷重が鉛直方向に作用するものと仮定した。時間方向分布に関しては、落石対策便覧に特別な規定がないため岸・中野等の実験結果⁶⁾や、吉田・榎谷等による数値解析的検討例⁷⁾を参考にして、図-3のような、荷重継続時間が $T = 35 \text{ msec}$ で台形状のモデルを採用した。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て、 $T = 70 \text{ msec}$ で図-3と相似な時間分布を仮定するケースについても検討している。最大衝撃力 P_0 は、落石の特性に無関係に $P_0 = 50 \text{ tf}$ と仮定している。

覆工をブロック施工する場合には、衝撃荷重がブロック端部に作用する場合は最も大きな応答を示すものと考えられる。しかしながら、本研究では覆工の動的応答特性に対する頂版形状や補剛桁の剛性効果を検討することを主目的としているため、荷重載荷点をスパン中央点の断面中央部、および自由端部に限定し解析を行っている。特に自由端載荷の場合には、それぞれ補剛桁がない場合には自由端と、また補剛桁がある場合にはその桁の中心軸と載荷端部が一致するようにしている。

解析結果は、 $P_0 = 50 \text{ tf}$ が図-2の分散仮定に従って静的に載荷した場合の最大断面力に対する比で整理している。なお、各ケースの要素分割は、平版構造、アーチ構造のタイプ1の場合でそれぞれ 20, 25 である。アーチ構造の場合の要素も平版構造と同様の帯板要素を用い、アーチ部を折線近似している。解析方法は、岸・中野等による RC 箱型覆工に関する応答解析³⁾と同一とし、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ている。減衰定数は全てのモードに関して $h_r = 5 \%$ と仮定した。覆工の固有振動周期は、緩衝材の質量によって多少長くなるものと考えられる。他の緩衝構造を用いることも想定して荷重継続時間が $T = 70 \text{ msec}$ の場合も検討するため、本研究ではいずれの場合も緩衝材の質量を無視して解析を行うこととした。なお、RC 箱型覆工に関する動的解析結果⁴⁾より、緩衝材質量の考慮の有無による固有振動周期の変動は覆工の動特性に大きな影響を与えないことが明らかになっている。表-4には、参考のために各構造形式の各タイプに関する低次固有振動周期を一覧にして示している。表中の軸方向は道路軸方向を意味している。なお、解析モデルは道路軸方向および軸直角方向の板厚/スパン比が 1/30、1/10 となっている。本解析では、載荷幅が道路軸方向、軸直角方向にそれぞれ 1.4 m、1.8 m の部分分布荷重であることおよび荷重載荷時間が長い ($T = 35 \text{ msec}$ 以上) ことより、構造物の動的応答に与える板厚方向のせん断変形の影響は小さいものと判断される。以上より、本研究では岸・中野等⁴⁾による実証実験を用いた

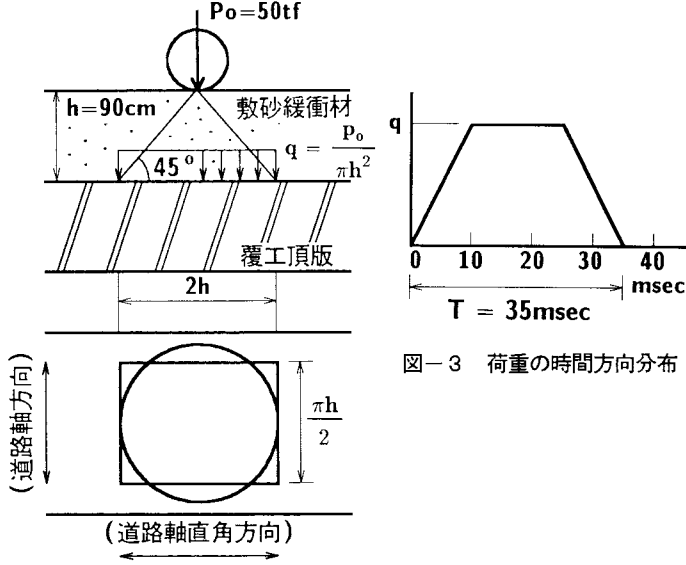


図-3 荷重の時間方向分布

図-2 荷重の緩衝材による分散

表-4 各解析ケースの低次固有振動周期(msec)の一覧

軸方向次数		1 次			3 次		
断面方向モード次数		1 次	2 次	3 次	1 次	2 次	3 次
平版構造	タイプ 1	170.3	33.4	16.2	60.1	23.3	10.9
	タイプ 2	178.1	36.4	16.4	54.1	24.0	11.7
	タイプ 3	162.2	39.6	18.1	40.8	23.0	14.0
アーチ構造	タイプ 1	163.4	37.4	16.3	51.6	23.4	11.5
	タイプ 2	147.8	47.3	17.6	44.0	22.9	13.1
	タイプ 3	160.7	49.1	19.6	37.8	21.4	13.8

衝撃応答解析法の適用性検討同様、板厚方向のせん断変形を無視した有限帯板要素法を用いて数値解析を行っている。

3. 数値解析結果および考察

本研究では、各構造型式の各タイプに関する動特性の比較を、スパン中央点の断面方向の曲げモーメント M_y とせん断力 Q_y を用いて行うこととする。数値解析結果はスパン中央点の断面各点におけるそれぞれ正・負方向の最大応答値を結んで得られる包絡線分布や、固定端部の M_y , Q_y の最大応答値に関する影響線の形に整理している。

3.1. 平版構造を仮定する場合

図-4には動的応答解析結果の基準となる静荷重時の各断面力分布図を示している。荷重は前節に述べているように、 $P_0 = 50 \text{ tf}$ が図-2の分散仮定に従って載荷しているものと仮定した。図-5はスパン中央部の自由端および中央部に載荷した場合の各点の正・負方向の最大応答値に関する包絡線分布を M_y および Q_y について示している。各値は図-4に示している静的解析結果の最大応答値に対する比で示している。

表-4に示しているように、各タイプの最低次固有周期は $150 \sim 180 \text{ msec}$ 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タイプとも $T = 35 \text{ msec}$ で負のモーメントが $-0.9 \sim -1$ ，正のモーメントが $0.8 \sim 0.9$ となっており、 $T = 70 \text{ msec}$ では負のモーメントが $-1.6 \sim -1.7$ ，正のモーメントが $1.3 \sim$

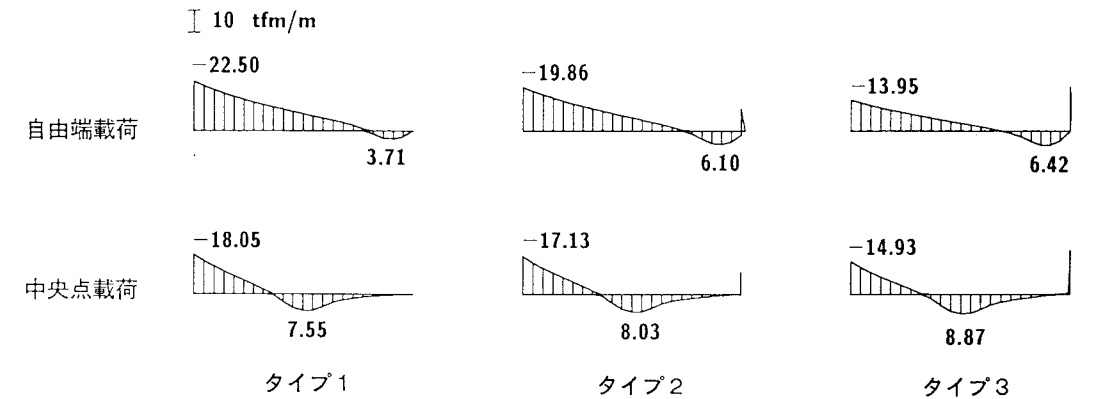


図-4(a) 平版構造を仮定する場合の静荷重載荷時の M_y の分布図 (tfm/m)

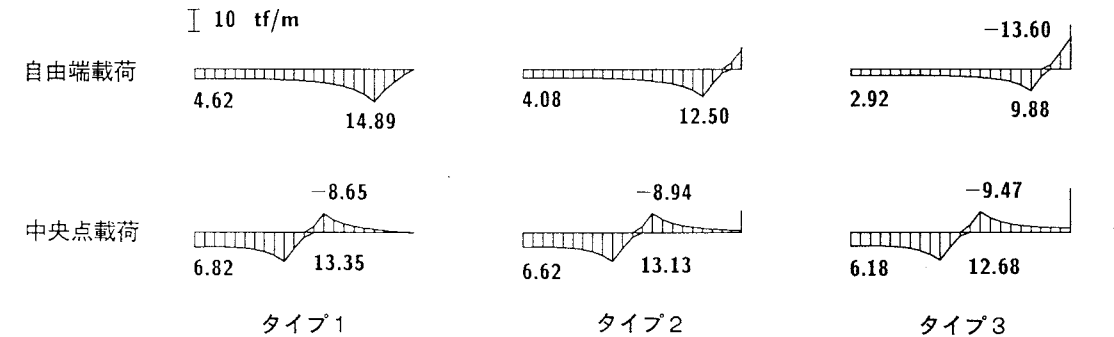
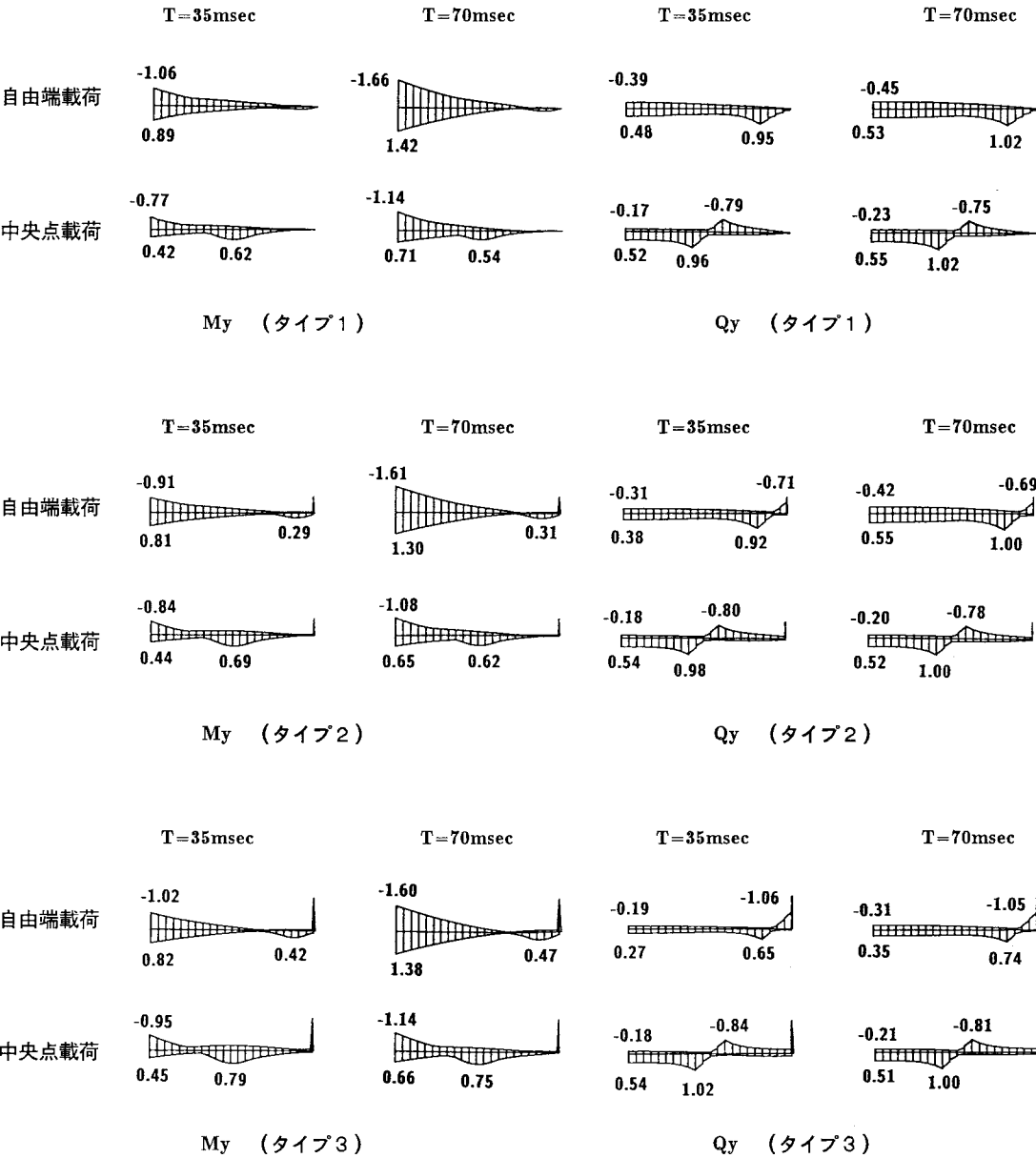


図-4(b) 平版構造を仮定する場合の静荷重載荷時の Q_y の分布図 (tf/m)

1.4 の値となっている。タイプ2、タイプ3の場合には自由辺部に補剛桁があるために自由端が弾性支持の状態となり、自由端載荷時の場合においても載荷点近傍で 0.3 ～ 0.5 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 -0.8 ～ -1.1 程度、正のモーメントは 0.45 ～ 0.70 程度の値を示している。また、載荷点部では 0.5 ～ 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。固定端における応答は、自由端載荷時の場合には正・負ほぼ類似の値を示しており、衝撃荷



図ー5 平板構造を仮定する場合の M_y および Q_y の無次元最大応答値包絡線分布図

表－５ 平板構造を仮定する場合の M_y の最大応答値 (tfm/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
着目点		固定端	固定端	固定端	固定端	載荷点中心	固定端	載荷点中心	固定端
タイプ 1	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	
タイプ 2	正	16.15	25.88	-19.86	7.57	11.77	11.05	10.58	-17.13
	負	-18.13	-31.89		-14.41	-4.42	-18.47	-4.15	
タイプ 3	正	11.48	19.30	-13.95	6.74	11.80	9.88	11.25	-14.93
	負	-14.16	-22.26		-14.22	-4.78	-17.01	-4.08	

表－６ 平板構造を仮定する場合の載荷端部における Q_y の最大応答値 (tf/m)

荷重載荷位置		自由端				中央点			
荷重載荷時間		35msec		70msec		35msec		70msec	
		正	負	正	負	正	負	正	負
タイプ 1		14.21	-5.81	15.23	-6.76	14.89	12.88	-10.50	13.61
タイプ 2		11.45	-8.88	12.46	-8.67	12.50	12.92	-10.55	13.02
タイプ 3		8.80	-14.39	10.05	-14.27	-13.60	12.89	-10.69	12.74

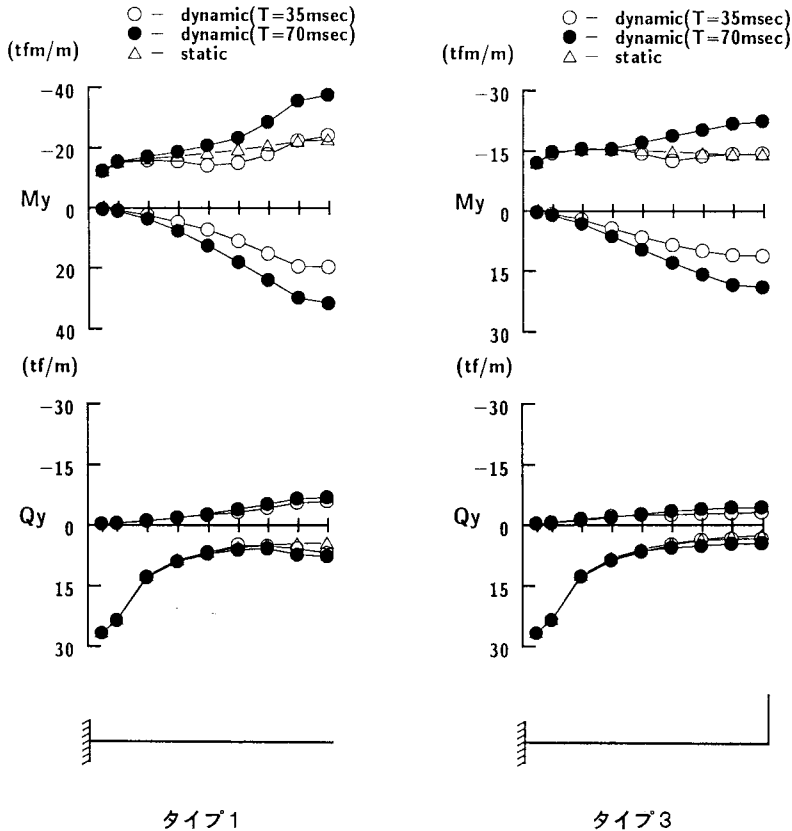
重入力によってほぼ同程度の交番応力が励起されていることがわかる。

また、最大応答値を示す可能性のある固定端や載荷点中心、載荷端部に着目点を限定した場合の実最大応答値の一覧を表－５、６に示している。まず、曲げモーメント M_y について言及すると、静的解析結果は補剛桁の桁高が大きいほど値が小さくなっており、補剛桁の剛性の効果が示されている。動的解析結果に関しては、応答値が大きく示されている自由端載荷の場合について注目すると、正・負方向とも静的解析結果同様、補剛桁の桁高が大きくなるほど応答値が低減しているのがわかる。その低減率は、静的解析結果よりも若干大きいようである。正・負の曲げモーメントとも、タイプ２およびタイプ３はそれぞれ補剛桁なしのタイプ１の 0.80 ～ 0.85、0.6 程度に低減されていることがわかる。中央点載荷の場合には、荷重継続時間やタイプの違いに関わらず固定端、載荷点中心とも類似の値を示し、補剛桁の剛性の効果は小さいようである。

一方、せん断力 Q_y に関しては、表－６より静的解析結果が３タイプとも類似の値を示していることがわかる。前述の結果をも考慮すると、補剛桁の剛性はせん断力の低減に効果的に作用しないことがわかる。

図－６には、タイプ１、３の固定端に関する正・負の曲げモーメント M_y およびせん断力 Q_y の影響線を静的解析結果と比較して示している。図は載荷点中心部の値として評価整理している。固定端近傍部は固定端に荷重端部が一致する位置まで解析を行っている。それ以上固定端側に荷重が載荷する場合には、支持部に荷重が載荷されるため各断面力の値も低減していくものと考えられる。両タイプの曲げモーメント影響線を調べると、いずれのタイプの正・負の影響線とも荷重継続時間 T が長い場合が大きな値を示している。また、断面中央部より自由端側に荷重が作用する場合には、正・負ともほぼ等しい値となっていることがわかる。タイプの違いによる比較を行うと、いずれのタイプとも固定端から遠くなるに従い、値も大きくなる傾向にある。しかしながらタイプ３の場合は増加の程度が小さく、特に荷重継続時間が $T = 35 \text{ msec}$ の場合はほぼ一定な値となっている。一方、せん断力に関しては静的解析結果（正の値のみ）を含め、いずれの場合もほぼ同様の分布性状を示していることがわかる。

以上より、自由端に補剛桁を設置することにより固定端のモーメントを低減することができることが明らかとなった。自由端載荷時にはタイプ１に対してタイプ２、タイプ３は、それぞれ 0.8 ～ 0.85、0.6 程度となる。



図一六 平板構造を仮定する場合の固定端部の M_y および Q_y の影響線図

3.2. アーチ構造を仮定する場合

アーチ構造を仮定する場合の応答解析結果を論ずる前に、その基準となる静解析結果を図一七に示す。図一八には各タイプの最大応答値に関する包絡線分布図を、図一五と同様、各静荷重載荷時の最大応答値（図一七）に対する比で示している。

まず、曲げモーメント M_y 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、タイプ1の場合は正・負モーメントとも $T = 35 \text{ msec}$, 70 msec において1以上となり、自由端方向に向かって徐々に小さくなっている。特に $T = 70 \text{ msec}$ の負の端モーメントは-2以上となっている。一方、タイプ2, 3の $T = 70 \text{ msec}$ の場合には、固定端よりクラウン部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、載荷点部の曲げモーメントがタイプ2, 3では1.25 ~ 1.40 程度となっているのに対し、タイプ1では0.7 ~ 0.8 と1より小さな値となっている。これより、クラウンの高さを大きくすることによりクラウン部の応答値が大きくなる傾向を示していることがわかる。

せん断力 Q_y に関しては、頂版を平板構造とする場合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（タイプ2, $T = 35 \text{ msec}$ ）である。

表一七, 八には、表一五, 6と同様に M_y , Q_y に関する固定端および載荷点中心あるいは載荷端部の最大応答値を示している。表一七よりタイプ1とタイプ2のクラウンの高さの違いによる曲げモーメントに関する応答値の比較

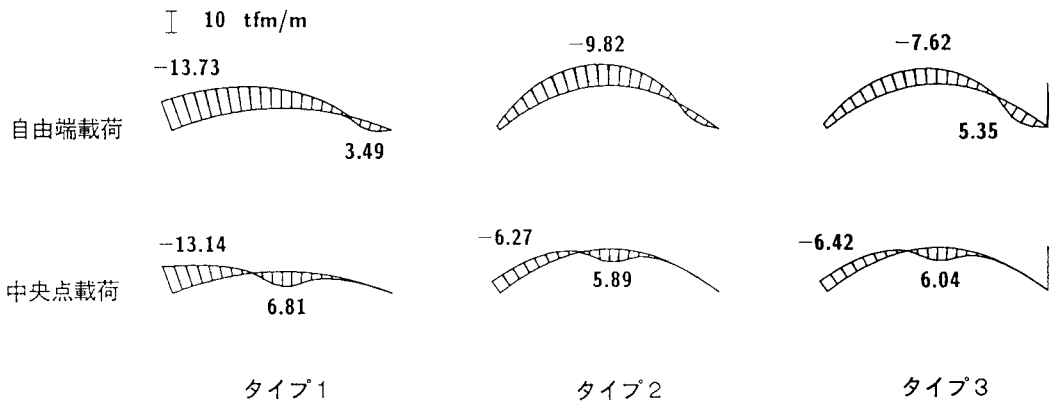


図-7(a) アーチ構造を仮定する場合の静荷重載荷時の M_y の分布図 (tfm/m)

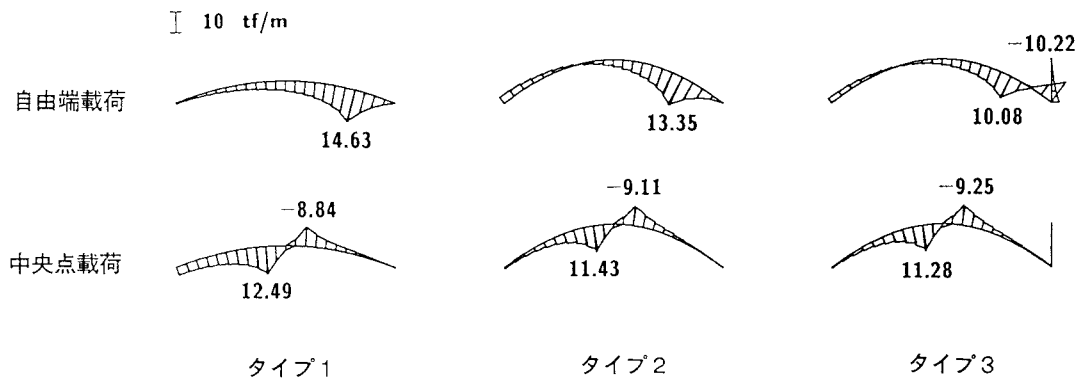


図-7(b) アーチ構造を仮定する場合の静荷重載荷時の Q_y の分布図 (tf/m)

を行うと、自由端載荷時、中央点載荷時ともクラウンの高さが高いタイプ2の方が小さな値を示している。これより、前述のとおりクラウンの高さは固定端部の曲げモーメントの低減に効果的に作用することが明らかとなる。補剛桁の曲げモーメントの低減に関する効果を検討するために、タイプ2とタイプ3の結果を比較すると、中央点載荷時の荷重継続時間が $T = 35$ msec の場合と $T = 70$ msec の場合の載荷中心点では、両者類似の値を示している。自由端載荷時の場合にはタイプ3の場合がタイプ2より $T = 35$ msec の場合には 45 % 前後、 $T = 70$ msec の場合には 20 ~ 27 % 程度低減しており、補剛桁によって曲げモーメントが低減する傾向にあることがわかる。タイプ1とタイプ3を比較すると、自由端載荷時にはタイプ3はタイプ1の $1/2.5 \sim 1/2.7$ となっており、タイプ3の場合はクラウンの高さによる効果と補剛桁の剛性の効果が相乗的に作用しているものと考えられる。

次にせん断力値について検討を行う。自由端載荷時の場合は、正せん断力は静的解析結果とほぼ等しい値を示しており、補剛桁を設置する場合（タイプ3）は負せん断力よりも若干小さい値となっている。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、タイプ3はタイプ2とほぼ類似の応答値を示しているようである。

図-9には図-6と同様のタイプ2とタイプ3に関する固定端部の M_y と Q_y に関する影響線を示している。いずれの場合も、荷重継続時間の違いによって著しい差は示されていない。荷重をクラウンの高さに無関係に鉛直方向に作用させているものの、曲げモーメントの静解析結果はいずれの場合も固定端から離れるに従って小さくなっているが、動的解析結果は中央点と自由端間では増加方向に分布している。また、固定端から中央点間ではタイプによる差は小さいようであるが、中央点から自由端の間では補剛桁のないタイプ2が大きくなっており、その部分に補剛桁の剛性による効果が現れているようである。

一方、せん断力に関しては前述同様、荷重継続時間 T やタイプの違いによる著しい差は示されず、いずれも類似の分布を示している。

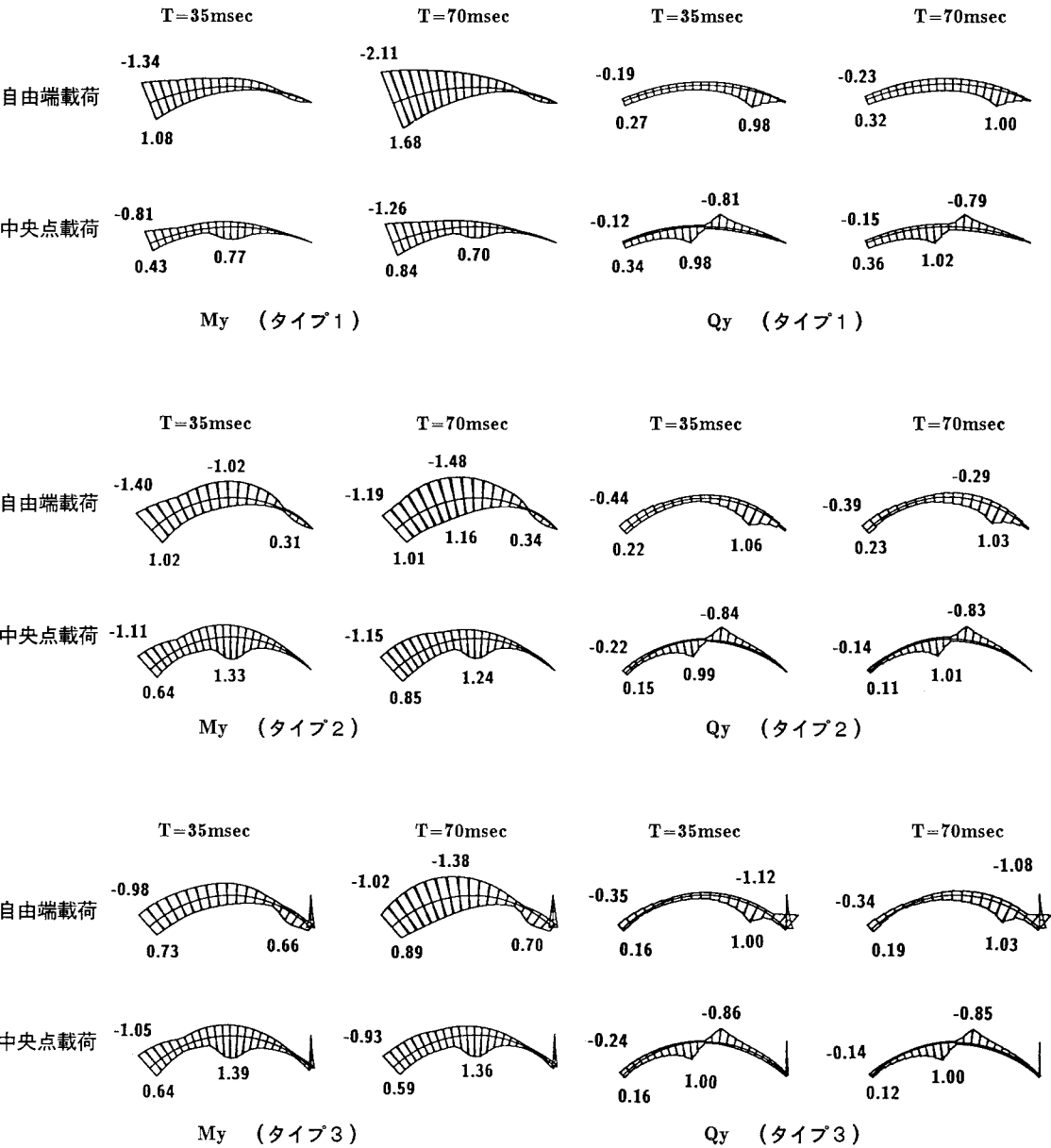


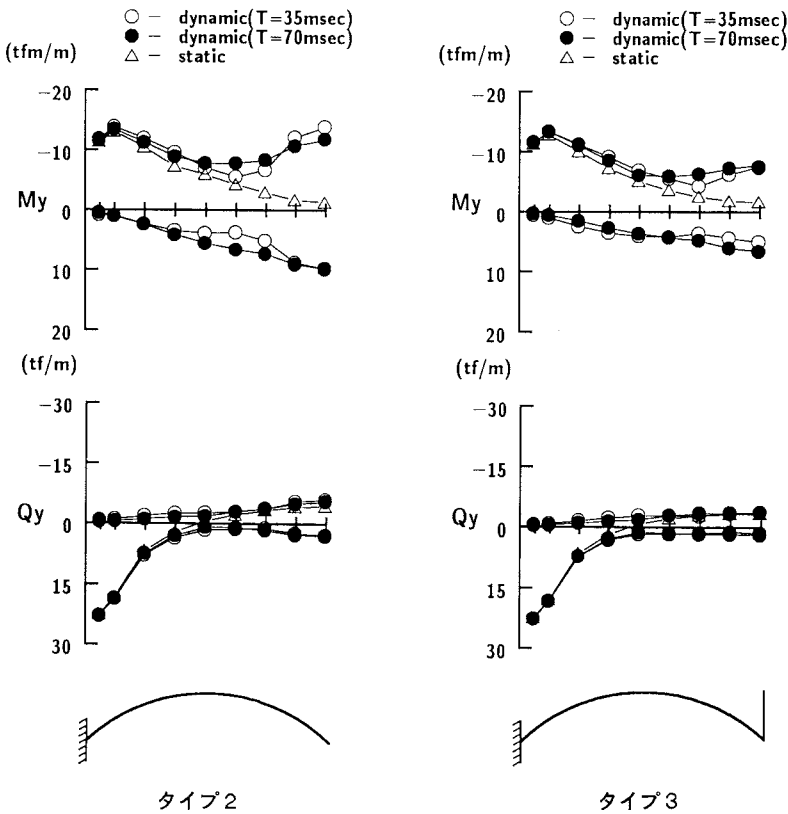
図-8 アーチ構造を仮定する場合の M_y および Q_y の無次元最大応答値包絡線分布図

表ー7 アーチ構造を仮定する場合の M_y の最大応答値 (tfm/m)

荷重載荷位置		自由端		静解析結果	中央点				静解析結果
荷重載荷時間		35msec	70msec		35msec		70msec		
着目点		固定端	固定端		固定端	載荷点中心	固定端	載荷点中心	
タイプ1	正	14.84	23.14	-13.73	6.28	10.18	11.01	9.16	-13.14
	負	-18.44	-29.11		-10.67	-4.28	-16.56	-4.29	
タイプ2	正	10.03	11.37	-9.82	4.02	8.63	5.70	8.34	-6.27
	負	-13.72	-14.55		-6.94	-4.55	-7.79	-3.51	
タイプ3	正	5.57	9.00	-7.62	4.17	8.94	3.78	8.73	-6.42
	負	-7.44	-10.54		-6.75	-4.27	-5.98	-3.46	

表ー8 アーチ構造を仮定する場合の載荷端部における Q_y の最大応答値 (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		14.40	-2.80	14.67	-4.92	14.63	12.20	-10.16	12.70	-9.80	12.49
タイプ2		14.09	-5.88	13.90	-5.32	13.35	11.35	-9.68	11.60	-9.52	11.43
タイプ3		10.22	-11.49	10.55	-11.06	-10.22	11.32	-9.68	11.29	-9.57	11.28



図ー9 アーチ構造を仮定する場合の固定端部の M_y および Q_y の影響線図

4. まとめ

片持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て、平版構造を基本構造として、自由辺に補剛桁を設置した場合や、アーチ形状を基本構造としてクラウン部を変化させた場合や補剛桁を設置した場合について、衝撃荷重載荷による弾性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、

平版構造の場合：

- 1) 静的荷重載荷に対する最大応答倍率は、いずれのタイプとも曲げモーメントで 1.6 ~ 1.7，せん断力で 1 前後の値となっている。
- 2) 絶対応答値に関しては、自由辺に補剛桁を設置することにより、自由端載荷時の固定端における曲げモーメントを低減でき、補剛桁は曲げモーメントの低減に効果的に作用することが明らかになった。

アーチ構造の場合：

- 3) クラウンの高さが 1 m で $T = 70$ 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、他のタイプでは 1.5 以下となり、平版構造より小さくなっている。せん断力の場合は、平版型式と同様 1 前後となっている。
- 4) クラウンが高い場合には、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、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明らかになった。

平版構造とアーチ構造の比較：

平版構造とアーチ構造を仮定する場合の応答結果を比較すると、曲げモーメントを最も効果的に低減できる構造は自由辺に補剛桁を設置したアーチ構造である。せん断力に関しては、いずれの場合も大きな差異はなく、静載荷時と同程度であることが明らかとなった。

謝辞

本研究に対して、室蘭工業大学建設システム工学科大学院生の竹村瑞元君に協力を戴いた。ここに記して謝意を表する。

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.1597-1606，1992.3.
- 3) 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証的検討，土木学会論文集，No.483/I-26，pp.221-231，1994.1.
- 4) 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
- 5) 中野 修，西 弘明，菅田紀之，三上 隆：覆工の応答性状に及ぼす開口部およびスパン長の影響，土木学会北海道支部論文報告集，第49号，pp.163-168，1993.2.
- 6) 岸 徳光，中野 修，松岡健一，西 弘明：野外実験による敷砂の緩衝性能，構造工学論文集，Vol.39A，pp.1587-1597，1993.3.
- 7) 吉田 博，榎谷 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.

(1993年9月16日受付)