

## (15) 柱式 RC 覆道の弾性衝撃挙動

## ELASTIC IMPACT RESPONSE OF COLUMN-TYPE RC ROCK-SHED

佐藤 昌志\*, 今野 久志\*\*, 松岡 健一\*\*\*, 上坊寺 実\*\*\*\*

Masashi SATO, Hisashi KONNO, Ken-ichi MATSUOKA and Minoru JOBOJI

\* 工博 北海道開発局 開発土木研究所室長 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸1-3)

\*\* 工修 北海道開発局 開発土木研究所主任研究員 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸1-3)

\*\*\* 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)

\*\*\*\* 工修 セントラルコンサルタント(株) 仙台支店 (〒980 仙台市青葉区五橋1丁目6番6号)

キーワード: 柱式, RC 落石覆道, 衝撃挙動, 弾性解析

(column type, RC rock-shed, impact response, elastic analysis)

## 1. はじめに

落石覆道の種類は, 構成材料からみればコンクリート製と鋼製がある. コンクリート製の落石覆道は, さらに鉄筋コンクリート(RC)製とプレストレストコンクリート(PC)製に分けられる. これらは建設される地形, 落石規模等に応じて選定され設置されている. 敷砂を緩衝材とすれば, 比較的小規模な落石が想定される場合には主として鋼製覆道が, 想定される落石荷重が大きい場合に対してはRC覆道が採用されており, PC覆道はこれらの中間に位置するものとされている. また, RC覆道は構造形式から大別すれば, 開口部を有する箱型覆道と片側に柱構造を有する柱式覆道に分けられる.

一方, 過去の著者等の研究から, 三層緩衝構造(Three-Layered Absorbing System: 以下 TLAS)を用いる場合には, PC覆道でも大きな落石荷重に対して十分な安全性を確保できることも明らかになっている<sup>1)</sup>.

いずれの緩衝構造を用いる場合でも, RC覆道は任意の断面形状に対する施工が可能であることより, 大規模な落石に対する安全性を確保できるため, その耐衝撃安全性に関する研究が活発に行われている<sup>2),3)</sup>. RC覆道の安全性確保のためには, 衝撃挙動を考慮した合理的な設計法を確立することが重要で

ある. 著者等もこれまで箱型RC覆道に関する実験的及び解析的に詳細な検討を行い<sup>4)</sup>, 落石衝撃による3次元弾性衝撃応答特性を考慮した設計法を提案している<sup>5)</sup>. またRC覆道のもう一つの形式である柱式RC覆道においても詳細な実証実験を行い, その衝撃特性を検討するとともに三次元衝撃応答解析法等との比較検討を行っている<sup>6)</sup>. この結果, 柱式RC覆道においても, 三次元衝撃応答解析法を用いた解析によって落石覆道の応答特性の評価が可能であることを明らかにしている.

以上の観点から, 本論文では柱式RC落石覆道に対して実設計のための基礎資料を得ることを目的として, 覆道の断面寸法および衝撃荷重載荷位置を変化させた場合の衝撃応答解析をLS-DYNAを用いて検討した. なお, 緩衝構造の影響も検討するため荷重分布状態も考慮して解析を行っている.

## 2. 解析仮定

## 2.1. 解析モデル

解析に用いた覆道モデルは, 国道228号に設置されている立岩覆道の1ブロック(図-1)を基本とした. 立岩覆道は北海道開発局が覆道に対する合理的設計手法を検討するための一環として, 重錘落下による実証実験を実施した覆道である. ここではこ

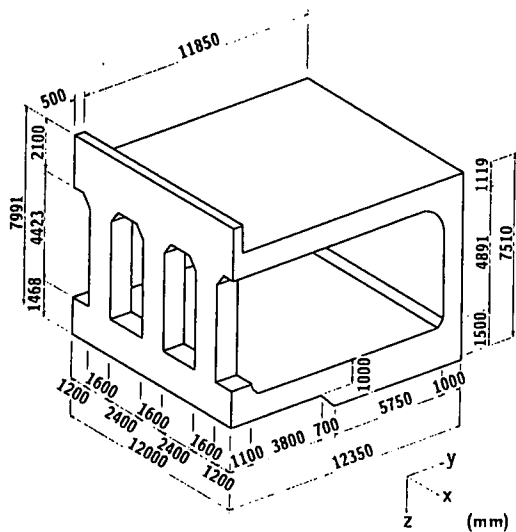


図-1 立岩覆道の1ブロック

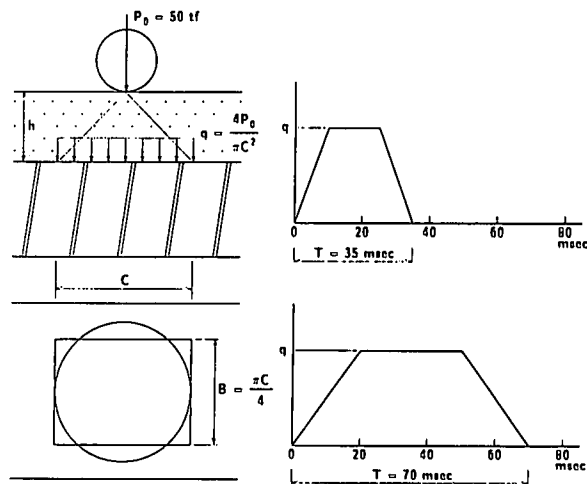


図-3 荷重の分布状況

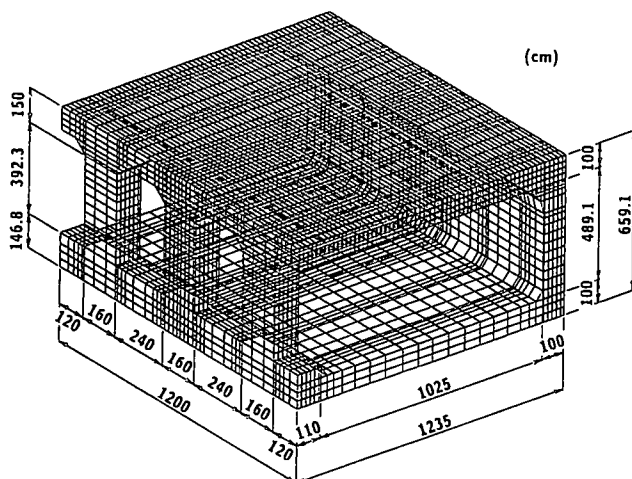


図-2 要素分割状態の一例

れを一部簡素化したモデルを要素分割し解析に用いることとした。また要素分割は、解析の精度を確保するために載荷条件により変化させているが、特に応力の変化が大きいのと思われる部分で分割数を増加させている。図-2には緩衝材を敷砂とした場合の道路軸方向の中央部断面に対して、幅員方向任意点載荷時の解析に用いた要素分割状態を示している。なお、ここで用いている座標軸は、図-1に示すとおり道路軸方向をX軸、幅員方向をY軸、鉛直方向をZ軸とした。

覆道の底版は、一般に基礎地盤上におかれており弾性基礎上の扱いとなる。しかしながら、これまでの実験結果より基礎地盤の影響は大きくないことが明らかになっている<sup>2)</sup>。これをもとに本解析モデルにおいても弾性基礎を無視し、底版のX軸方向両側線部を単純支持とすることとした。さらにX軸方向の端部断面が実際には目地材により縁切りされていることから両端部を自由境界とした。また、解

表-1 入力衝撃荷重ケース一覧

荷重ケース	幅員方向分布幅	軸方向分布幅	載荷時間
ケース1	C = 1.0 m	B = 0.786 m	T = 35 msec
ケース2	C = 1.8 m	B = 1.414 m	T = 35 msec
ケース3	C = 3.0 m	B = 2.356 m	T = 70 msec

析に用いた覆道の材料定数は弾性係数  $E = 3 \times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup>、ポアソン比  $\nu = 0.2$ 、単位体積重量  $\omega = 2.5$  gf/cm<sup>3</sup> とした。

## 2.2. 衝撃荷重分布

本研究では許容応力度法に基づく設計を行うための基礎資料を得ることを目的としていることから、衝撃荷重の最大値は任意に設定できる。ここでは便宜的に50 tfとした。また衝撃荷重は緩衝材により分散され、部分分布の状態で覆道頂版上に作用するものとして解析を行った。落石による実衝撃荷重は従来同心円上に分散分布すると考えられるが、ここではこれを幅員方向分布幅C、軸方向分布幅  $B = \pi C/4$  とする円形分布と等価な矩形分布に換算して入力することとした。覆道頂版上への載荷分布幅は、緩衝構造により異なる。このことから、ここでは落石対策便覧で規定している荷重分布特性に基づいて仮定した荷重分布、および三層緩衝構造(表層材: 敷厚50 cmの敷砂、芯材: 20 cm厚のRC版、裏層材: 50 cm厚のEPS材)を用いた著者らの実証実験から得られた荷重分布の2つの衝撃荷重を対象として検討を行うこととした。衝撃荷重の空間分布および時間分布を図-3に示し、以下に衝撃荷重の概要を述べる。

ケース 1 : 敷厚 90 cm の敷砂単層とした緩衝性能実験結果に基づいて、衝撃荷重の分散幅を  $C = 1.0 \text{ m}$  とし、過去の実験結果を基に載荷時間分布を継続時間  $T = 35 \text{ msec}$  の台形分布と仮定した場合。

ケース 2 : 敷厚 90 cm の敷砂単層を仮定し、衝撃荷重分布幅を落石対策便覧に基づいて  $C = 1.8 \text{ m}$  (敷厚  $\times 2$ ) とし、載荷時間分布を継続時間  $T = 35 \text{ msec}$  の台形分布と仮定した場合。

ケース 3 : TLAS の緩衝性能実験結果に基づいて、衝撃荷重分布幅を  $C = 3.0 \text{ m}$ 、載荷時間分布をケース 1, 2 と同様な台形状分布とし  $T = 70 \text{ msec}$  と仮定した場合。

以上の各荷重ケースの一覧を表-1 に示す。

### 3. 解析結果および考察

著者らの研究によれば、三次元衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA を用いた解析により、柱式 RC 覆道の衝撃挙動を十分評価できることが明らかとなっている。しかしながら、落石覆道の三次元衝撃応答特性を考慮した実設計を行うためには、覆道の断面寸法、荷重分布幅、荷重載荷位置等の各種設計条件をパラメータとした多量の解析を行い、各種断面力値に関する基礎資料を作成することが必要である。一般的な落石覆道を考察すると、道路軸方向長、幅員、側壁部の厚さ、柱の断面および底版厚等の寸法は、道路の規格に支配される。このため一般国道にある落石覆道では、本解析に用いた基本モデルとほぼ同様な場合が多い。一方、頂版厚は落石規模によって設定される設計条件で変化することが多い。以上のことより、ここでは覆道の断面寸法として覆道頂版部の厚さのみ着目して解析を行った。具体的には、頂版厚として実設計で用いられることの多い、厚さ  $70 \sim 130 \text{ cm}$  を参考に  $h = 100 \text{ cm}$  を基準とし、 $h = 70 \text{ cm}$  と  $h = 130 \text{ cm}$  の三種類を頂版厚として採用した。なお本論文では実設計における断面力評価を前提としているため、LS-DYNA によって得られた要素応力を断面力に換算して評価している。表-2 にここで用いた断面力の定義の一覧を示す。

#### 3.1. 最大断面力分布に及ぼす頂版厚の影響

ここでは頂版厚の影響を検討するため、荷重分布幅をケース 2 に限定し、頂版厚を変化させた解析を行った。

表-2 断面力定義一覧

断面力	記号	頂版, 底版	側壁部	柱
幅員方向曲げモーメント	$M_y$	$\int_{A_1} \sigma_{yz} dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_{zy} dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_{zy} dA_3$
軸方向曲げモーメント	$M_x$	$\int_{A_1} \sigma_{xz} dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_{xy} dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_{zx} dA_3$
幅員方向軸力	$N_y$	$\int_{A_1} \sigma_y dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_z dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_z dA_3$
軸方向軸力	$N_x$	$\int_{A_1} \sigma_x dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_x dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_z dA_3$
幅員方向せん断力	$Q_y$	$\int_{A_1} \tau_{yz} dA_1$	$\int_{A_2} \tau_{zy} dA_2$	$\int_{A_3} \tau_{zy} dA_3$
軸方向せん断力	$Q_x$	$\int_{A_1} \tau_{xz} dA_1$	$\int_{A_2} \tau_{xy} dA_2$	$\int_{A_3} \tau_{zx} dA_3$

$A_1$ : 頂版, 底版の断面積  $A_2$ : 側壁の断面積  $A_3$ : 柱の断面積

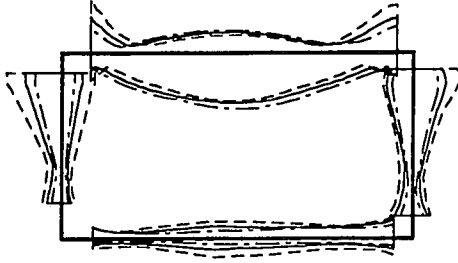
#### (a) 道路軸方向中央部断面における覆道幅員方向任意点載荷時の最大断面力包絡線分布

道路軸方向の中央部断面に対して、幅員方向任意点載荷時の各断面力の最大包絡線分布を図-4 (a) に示す。図では断面内側に正値を、外側に負値を示している。また、曲げモーメントは内側が引張となる場合を正値、外側が引張となる場合を負値とする。軸力は引張を正値、圧縮を負値として示している。

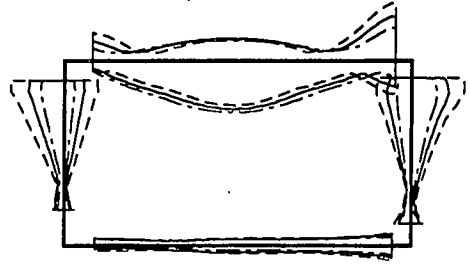
幅員方向曲げモーメント  $M_y$  の分布は、頂版では中央部および両端部で大きく、柱および側壁部では上部で大きな分布を示している。頂版部の曲げモーメントは頂版厚による影響は少ないが、頂版両端部および柱部、側壁部では頂版厚の影響が現れている。数値的には、頂版部と柱および頂版部と側壁部の両接合部で  $h = 70 \text{ cm}$  の値は  $h = 130 \text{ cm}$  に比べ 70 % 以上大きい。軸方向曲げモーメント  $M_x$  は、頂版部両端において頂版厚の影響が現れている。しかしながら頂版部における最大値発生位置は頂版腹部であり、両端部における各値は腹部における最大値より小さい。また、頂版腹部において頂版厚の影響はほとんど現れていない。このため頂版厚の変化が与える軸方向曲げモーメント  $M_x$  への影響は、無視できるものと考えられる。幅員方向せん断力  $Q_y$  は、頂版部では両端部で大きく柱部および側壁部では上部でやや大きい分布を示すものの全体的に小さい。また、頂版厚の影響は柱部および側壁部において、 $h = 70 \text{ cm}$  の値は  $h = 130 \text{ cm}$  に比べ 70 % 以上大きな値を示す。しかしながら、他の部分では頂版厚

----- h=70cm    ——— h=100cm    ----- h=130cm

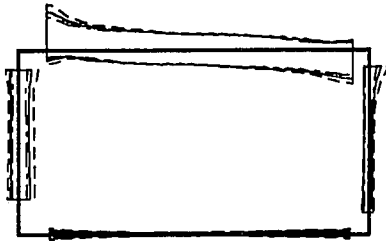
$M_y$  | 10 tfm/m, 40 tfm



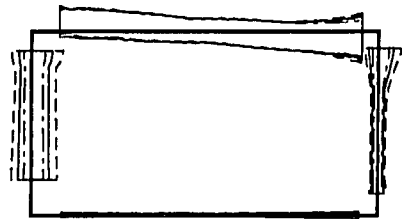
$M_y$  | 20 tfm/m, 80 tfm



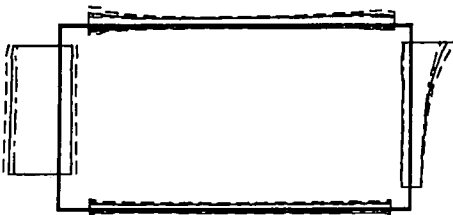
$Q_y$  | 20 tf/m, 40 tf



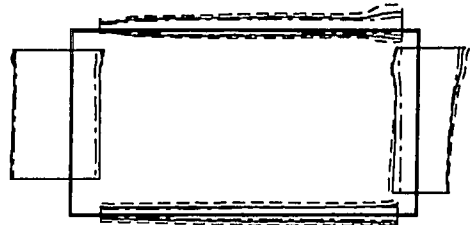
$Q_y$  | 30 tf/m, 50 tf



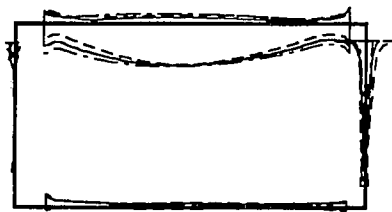
$N_y$  | 20 tf/m, 50 tf



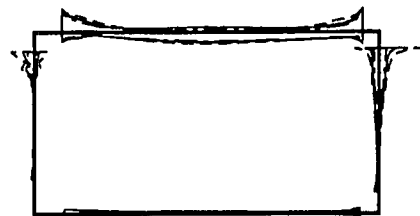
$N_y$  | 20 tf/m, 60 tf



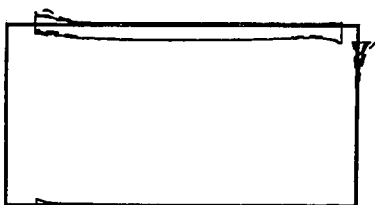
$M_x$  | 10 tfm/m, 40 tfm



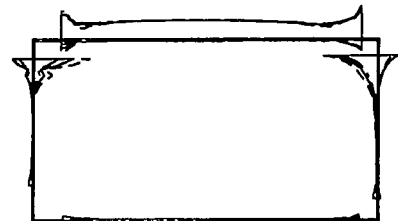
$M_x$  | 10 tfm/m, 40 tfm



$Q_x$  | 20 tf/m, 40 tf



$Q_x$  | 20 tf/m, 40 tf



(a) 中央部断面

(b) 端部断面

図-4 覆道幅員方向任意点載荷時の最大断面力包絡線分布 ( ケース 2 )

の影響は少ない。軸方向せん断力  $Q_x$  における頂版厚の影響はほとんど現れていない。幅員方向の軸力  $N_y$  は柱部および側壁部で大きく、頂版厚の増加に従って大きくなっている。

(b) 道路軸方向端部断面における覆道幅員方向

任意点載荷時の最大断面力包絡線分布

前節と同様に道路軸方向の端部断面に対して、幅員方向任意点載荷時の各断面力の最大包絡線分布を図-4 (b) に示す。なお、この断面において柱部は存在しないが、載荷断面に隣接する端部柱を柱部として考察を行っている。従って、頂版海側端部における応答分布は中央部断面載荷時と比べて小さい。しかしながら、全体的にはいずれの断面力も中央部断面よりも大きい応答を示している。また、いずれの断面力も中央部断面と同様に頂版両端接合部近傍において頂版厚変化の影響が現れている。 $M_y$  は頂版中央部では頂版厚の影響は少ないが、頂版両端部と柱部および側壁上部で値に大きな影響が現れ、柱上部に関しては  $h = 70 \text{ cm}$  の値が  $h = 130 \text{ cm}$  の値の2倍以上となっている。この傾向は中央部断面と同様であるが、数値的には端部断面における変動が大きい。その他の断面力に関しては、頂版厚の変化による影響は少ない。

以上のように、頂版厚の変化が各断面力に与える影響を中央部断面と端部断面において検討してきたが、各断面ともにその影響は幅員方向曲げモーメント  $M_y$  において最も大きく、頂版両端の各接合部においては  $M_y$  の評価に頂版厚の変化による影響を考慮する必要があることが明らかになった。

3.2. 幅員方向中央断面における道路軸方向

任意点載荷時の最大断面力包絡線分布

前節では覆道幅員方向任意点載荷時の最大断面力包絡線分布を覆道軸方向中央部断面と端部断面において検討した。ここでは断面力の覆道軸方向の分布に着目し、覆道中心線上任意点に載荷した場合の最大断面力の分布について、頂版厚を  $h = 100 \text{ cm}$  とした場合に限定して考察する。各断面の最大断面力包絡線分布を図-5 に示す。覆道はスパン中央において対称構造であることより、図にはスパンの半分のみを示している。また荷重ケースの種別は線の種類を変えて示した。覆道軸方向スパンを表す水平線から下方を正值、上方を負値とし、正負の基準は前節と同様である。各断面力ともいずれの断面でも荷重分布面積の小さいものほど大きな応答を示してい

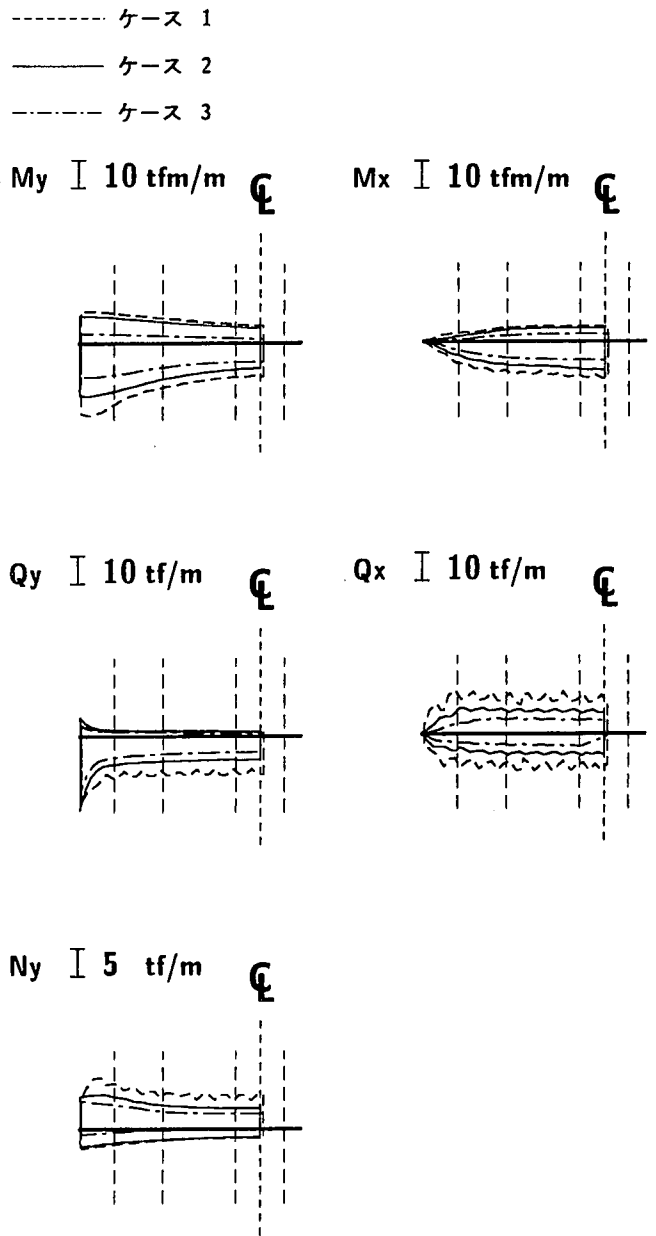


図-5 道路軸方向任意点載荷時の最大断面力包絡線分布 ( $h=100\text{m}$ )

ることがわかる。

$M_y$  の正值の分布は軸方向自由端部に近づくほど大きな値を示すが、負値ではほぼ一定の値を示している。 $Q_y$  は端部柱までほぼ一定の値を示すが、自由端部近傍で急激に増加する。なお、 $Q_y$  は幅員方向載荷幅の端部で評価を行っているため山側端部と海側端部で正負の最大値が異なる。図には山側端部の応答を示し、海側端部においては山側端部とほぼ同様の値を示すため、ここでは紙面の都合上省略することとした。 $M_x$  の正值は自由端部に向かって徐々に減少し、自由端部で零を示す。負値も同様の応答性状を示し、数値的には正值の  $1/3$  程度となっている。 $Q_x$  は正值、負値ともに端部柱までほぼ一定の値を示し、急激に減少して自由端部近傍で零を示

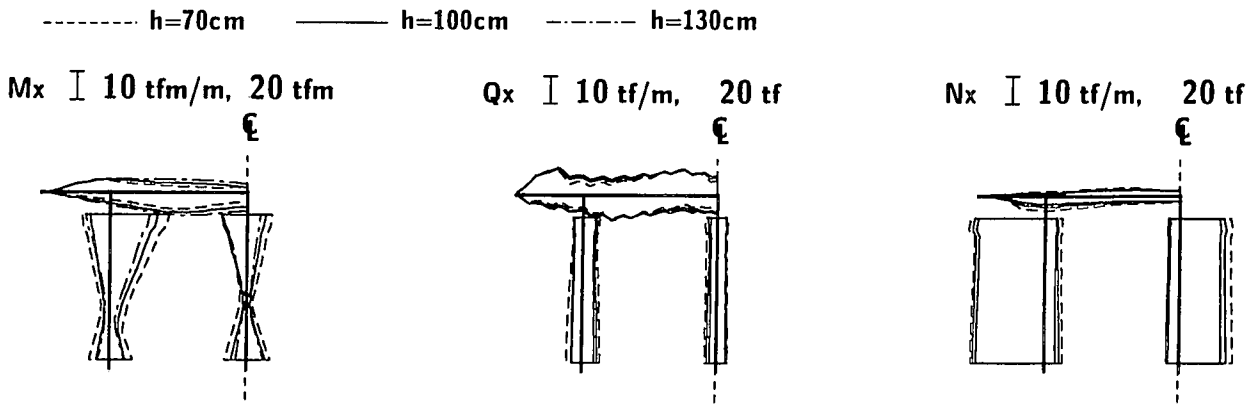


図-6 覆道幅員方向柱側断面任意点載荷時の最大断面力包絡線分布 ( ケース 2 )

す。荷重分布幅の変化が  $Q_x$  に与える影響は全断面において正負ともにほぼ一定であることがわかる。軸力は覆道幅員方向  $N_y$  , 軸方向  $N_x$  ともに応答値は微小である。

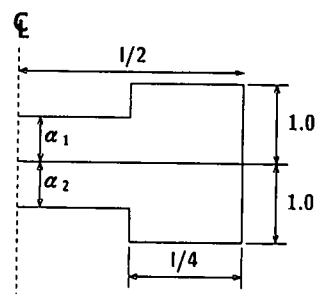
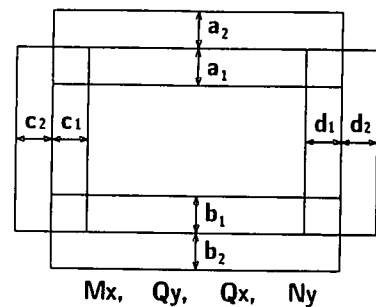
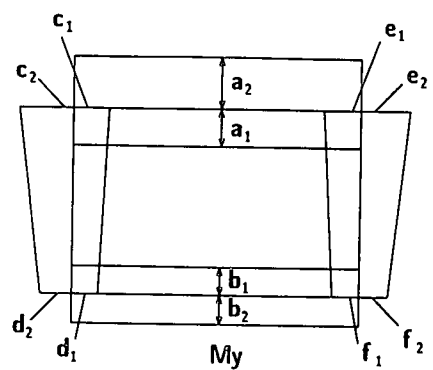
### 3.3. 覆道幅員方向柱側断面における道路軸方向任意点載荷時の最大断面力包絡線分布

柱式 RC 製落石覆道の場合には、柱および柱部近傍の断面力分布が特徴的になるものと考えられることより、この部分の応答特性を明確にすることが肝要である。ここでは、柱側に沿った軸方向任意点に載荷した場合の柱側断面における最大断面力包絡線分布を図-6に示す。なお、衝撃荷重は 3.1 と同様にケース 2 に限定して線の種別によって頂版厚の変化による断面力への影響を比較することとした。正負の表示においても 3.1 と同様とし、内側を正值、外側を負値としている。

ここでの結果は、柱部の応答が顕著となる軸方向断面力について検討を行うこととし、幅員方向断面力は紙面の都合上省略する。柱部の曲げモーメント  $M_x$  を除いて、頂版厚の影響が小さいことがわかる。端部柱における  $M_x$  に関して、 $h = 70 \text{ cm}$  の場合における負の最大値は  $h = 130 \text{ cm}$  における最大値の約 70 % 大きい値を示す。  $Q_x$  ,  $N_x$  ともに柱部で一定な値を示している。また、軸方向軸力  $N_x$  において柱部の圧縮力 ( 負値 ) が大きいのが確認できる。

### 4. 設計断面力評価図表

本論文では、柱式 RC 覆道において衝撃荷重載荷位置、載荷面積および頂版厚を変化させた場合の三



軸方向分布

図-7 各断面力の分布モデル

表-3 My の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>
0.7	23.33	29.10	8.28	6.66	46.00	70.76	14.46	12.99	18.48	29.18	8.52	6.85	0.64	0.84
1.0	25.10	22.19	6.63	5.62	28.08	46.90	11.33	10.46	12.81	20.61	6.29	5.22	0.70	0.82
1.3	26.87	16.65	5.77	4.27	15.43	31.39	9.10	6.90	10.15	14.54	4.80	3.34	0.73	0.88

次元弾性衝撃応答解析を行い、断面力特性を検討した。ここで得られた資料は落石覆道の設計条件を網羅したものではないが、ここで示した条件に対しては実設計に十分取り入れることが可能であると考えられる。

著者らは、これまでに箱型 RC 覆道において同様の解析を行い実設計手法を提案してきた<sup>7)</sup>。ここでは箱型覆道と同様にこれまで得られた結果を実設計へ利用可能なように、各断面力の最大包絡線分布をより簡易な図表へとモデル化して示す。図-7には各断面力の分布モデルを示し、図-8には柱式落石覆道の特長である柱部において軸方向断面力を考慮した分布モデルを示す。

断面力の分布特性は、図-7、8に示すようにすべて直線分布とした。それぞれの分布を決定する値をこれまでの評価に用いた覆道断面方向、軸方向および柱側断面ごとに分けて考察することとした。また、軸方向分布は自由端部を基準として中央部 1/2 の区間を係数 α<sub>1</sub>、α<sub>2</sub> により修正することとしている。

荷重 50 tf に対して断面力を決定する各断面力分布特性法を断面力分布係数と呼ぶこととする。各頂版厚に対して荷重分布幅をケース 2 に限定し、この断面力分布係数の一覧表を表-3 ~ 10 に示す。表-3 ~ 7 は覆道軸方向断面 (図-7) における表を示し、表-8 ~ 10 には覆道幅員方向柱側断面 (図-8) における表を表す。任意の頂版厚 h に対する係数はこの表から内挿して求めることができる。

## 5. まとめ

落石覆道の実設計のための基礎資料を得る目的で、LS-DYNA を用いた三次元応答解析を行った。こ

表-4 Mx の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>
0.7	10.80	6.12	1.43	3.17	14.51	23.34	9.01	11.32	1.00	1.00
1.0	10.99	5.84	1.01	2.60	6.64	11.26	6.17	4.94	1.00	1.00
1.3	11.29	5.46	0.84	1.84	3.35	6.42	2.19	4.14	1.00	1.00

表-5 Qy の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>
0.7	25.73	22.53	4.03	3.25	27.01	16.09	9.72	19.28	0.30	0.32
1.0	23.04	18.76	2.99	2.23	17.52	10.26	6.72	13.11	0.35	0.28
1.3	21.50	16.87	2.78	2.49	12.17	5.47	3.96	9.46	0.38	0.26

表-6 Qx の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>
0.7	9.25	17.12	2.34	2.67	61.26	21.70	29.39	9.12	1.00	1.00
1.0	9.99	17.05	2.86	2.16	42.32	21.63	24.94	11.52	1.00	1.00
1.3	9.95	13.54	2.65	1.78	27.53	14.55	19.92	10.35	1.00	1.00

表-7 Ny の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>
0.7	6.37	12.88	7.50	6.30	33.75	59.19	14.61	28.80	0.84	0.64
1.0	4.50	9.19	5.19	5.18	31.35	58.48	12.76	25.62	0.71	0.62
1.3	2.80	6.82	3.88	3.77	25.89	55.87	9.77	23.01	0.75	0.45

では衝撃荷重の分布幅、載荷位置、頂版厚の影響を検討するため、これらのパラメータを数種設定して検討を行った。また、これらの解析結果をもとに、実用的な設計図表を作成しその一部を示した。これらの解析の結果を以下に示す。

- 1) 軸方向端部断面載荷時の各断面力は中央部断面の場合に対して、1.5 ~ 2.0 倍大きな値を示す。
- 2) 各断面力値への頂版厚の影響は柱部を除いてそれほど大きくない。
- 3) 柱式 RC 落石覆道の断面寸法、荷重分布幅、載荷

表-8 Mx' の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>
0.7	6.37	4.21	43.58	19.79	17.33	14.07	17.82	18.72	17.82	16.04
1.0	7.61	4.37	35.10	13.85	11.57	9.00	18.54	14.13	14.21	11.09
1.3	8.65	4.54	29.23	17.14	10.88	8.04	17.08	10.13	7.66	12.57

表-9 Qx' の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
0.7	9.05	9.35	13.78	10.66	8.92	8.33
1.0	9.30	9.24	11.60	6.50	8.43	6.54
1.3	9.34	9.04	9.82	7.42	7.40	4.56

表-10 Nx' の断面力分布係数 (荷重 50 tf)

頂版厚 (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
0.7	5.55	2.71	13.87	55.84	8.92	40.31
1.0	4.24	2.22	9.26	53.06	7.71	35.50
1.3	3.34	2.03	11.61	50.34	9.14	31.54

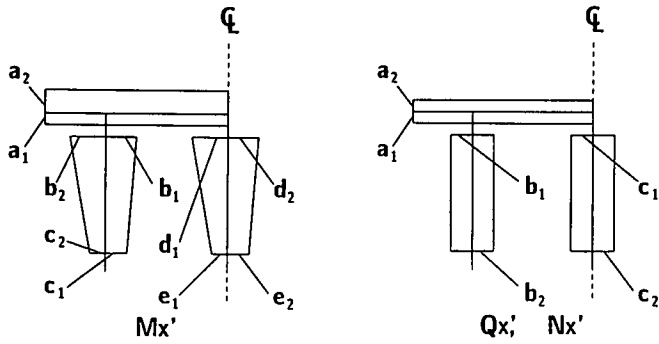


図-8 柱側断面における軸方向断面力の分布モデル

位置等のパラメータを設定し、実設計のための設計図表を設定することができた。

- 4) より詳細な設計図表を作成することより、三次元特性を考慮した落石覆道の設計が可能となることを示した。

参考文献

- 1) 佐藤昌志, 西 弘明, 岸 徳光, 松岡健一: 三層緩衝構造を用いた実規模 PC 製落石覆工の重錘落下衝撃挙動, 構造工学論文集, Vol. 42A, pp. 1347 ~ 1356, 1996.3.
- 2) 鋼材倶楽部: 新しい落石覆いの開発に関する研究, 鋼材倶楽部研究報告, 1973.4.
- 3) 園田恵一郎, 鬼頭宏明, 松浦幹佳: RC 門型落石覆工の衝撃破壊解析, 第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, pp. 224 ~ 229, 1993.6.

- 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用性に関する実証的検討, 土木学会論文集, No. 483/I-26, pp. 97 ~ 106, 1994.1.
- 5) 岸 徳光, 佐藤昌志, 西 弘明, 安藤智啓: 弾性衝撃応答解析による RC 落石覆工の断面力分布特性, 構造工学論文集, Vol. 41A, pp. 1185 ~ 1191, 1995.3.
- 6) 岸 徳光, 佐藤昌志, 今野久志: 敷砂や三層緩衝構造を設置した場合の柱式 RC 覆道の衝撃挙動解析, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp.1773 ~ 1782, 1998.3.
- 7) 佐藤昌志, 岸 徳光, 松岡健一: 3次元挙動を考慮したRCロックシェッドの設計断面力評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 52 号 (A), pp.278 ~ 283, 1996.2.