

弾性衝撃応答解析によるRC落石覆工の断面力分布特性

ELASTIC IMPACT RESPONSE ANALYSIS ON SECTIONAL FORCES OF RC ROCK-SHEDS

岸 徳光* 佐藤昌志** 西 弘明*** 安藤智啓****

Norimitsu KISHI, Masashi SATO, Hiroaki NISHI and Tomohiro ANDO

* 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2 7-1)

** 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 開発土木研究所研究員 構造研究室 (062 札幌市豊平区平岸1-3)

**** 工修 防衛庁第4研究所技官 築城研究室 (229 相模原市淵野辺2-9)

Usually RC rock-sheds are constructed by sequentially mounting 12 m long rock-shed units. Those units forming of rock-shed are independent and discontinuous to each other. In order to establish a rational design method of RC rock-sheds, it is important to make the characteristics of dynamic response of the RC rock-shed unit under impact load at its arbitrary points clear.

In this paper, the elastic impact responses on Sectional Forces of RC rock-shed units by means of DYNA3D are discussed. Assuming the load distribution area, the maximum sectional forces are numerically analyzed when impact load was surcharged near the free edges of the RC rock-shed unit. The values for M_y and Q_y became almost twice and thrice than the values obtained when impact load was surcharged at the center of the structure. A rational design procedure of RC rock-shed can be formulated considering the results obtained here.

Key Words: rock-shed, impact load, dynamic behavior, DYNA3D

1. はじめに

著者の一人はこれまで落石による衝撃荷重載荷時のRC製覆工の動特性に関する検討や、設計のための断面力分布の決定に関する検討を有限帯板要素法(以後、本法をここではF.S.M.と呼ぶ)を用いた簡易な立体解析^{1),2)}によって行ってきた。そこでは覆工を両端単純支持の箱型構造にモデル化して実証実験における覆工の最低次固有振動周期を近似させる形で仮想スパン長を30mに決定し、特に軸方向中央部に限定して解析を行っている。しかしながら、実RC覆工は軸方向の長さが12m(北海道地域)で端部が自由境界の互いに独立なブロック構造となっている。また、ブロックの各断面肉厚および鉄筋量は通常軸方向に変化させていないことより、断面の剛性は軸方向に一定である。従って、落石による衝撃荷重がブロックの自由端近傍に載荷する場合には、中央部に載荷する場合に比べ大きな断面力が発生するものと考えられる。一方、著者の一人は、前述の仮定に基づいた立体解析により、特にRC覆工中央部に衝撃荷重を載荷した場合に限定して覆工の動的および三次元的な効果を考慮した断面力分布に関する検討を行い、簡易な評価方法を提案している²⁾。RC覆工を安全かつ合理的に設計するためには、落石による衝撃荷重の中央部載荷のみならず、自由端部載荷時の動的挙動をも考慮した断面力評価法を確立しなければならない。

このような観点から、本論文は、落石による衝撃荷重がRC覆工の1ブロックの任意点に作用する場合のRC

覆工内断面力分布特性を、衝撃解析用汎用プログラムであるDYNA3D³⁾を用いた弾性衝撃応答解析に基づいてより詳細な検討を行ったものである。数値解析は現在施工中の実覆工断面を用いて行っている。本研究では、まずDYNA3Dによる解析結果を簡易な立体解析手法であるF.S.M.による解析結果のベンチマークとして用いることを前提として考え、落石対策便覧⁴⁾に則した荷重分布状態について、両者を比較する形で検討している。次に、実緩衝構造の特性に則した検討を行うために、落石対策便覧⁴⁾で規定している荷重分布の他、敷砂単層⁵⁾あるいは三層緩衝構造⁶⁾の緩衝性能に関する大型実験結果に基づいて仮定した荷重分布に対するRC覆工内断面力の応答性状についても検討を行っている。なお、本研究では、F.S.M.による解析結果との比較を容易にするためと実設計における断面力評価を前提としていることより、DYNA3Dによって得られた要素応力は、全て断面力に換算し評価することとした。また、本解析が全て弾性解析であることより、最大衝撃荷重 P_0 は、前述のF.S.M.による解析と同様 $P_0 = 50$ tfと仮定している。

2. 解析仮定

2.1 解析モデル

数値解析は、北海道開発局が覆工の落石荷重に対する合理的設計手法を検討するための一貫として、重錘落下による実証実験を実施した国道336号線に建設中の美

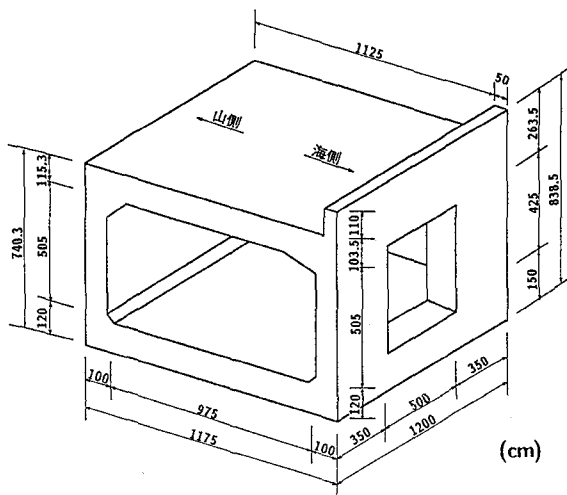


図-1 美幌覆道の1ブロック

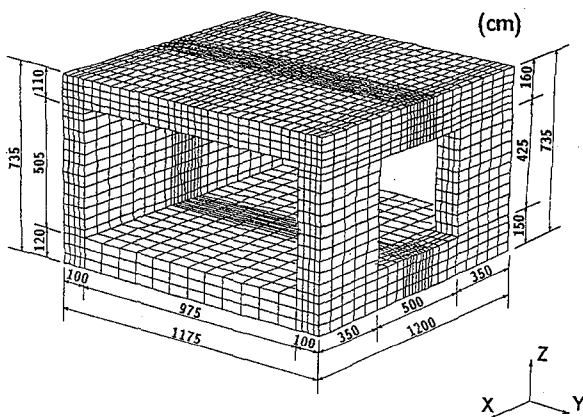


図-2 中央部載荷時の要素分割

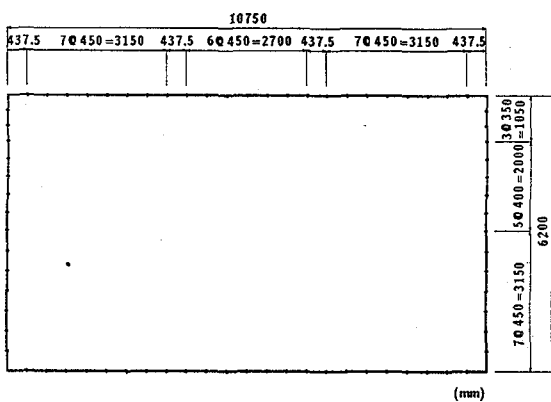


図-3 F.S.M.を用いた場合の中央載荷時の要素分割

幌覆道の1ブロックを用いて行った。美幌覆道は、その1ブロックの主形状寸法が、図-1に示すようにスパン長、幅、高さがそれぞれ12 m、11.75 m、7.4 mで、海側中央部に4.25 m × 5 mの開口部を有する箱型構造である。解析は軸方向の任意点に衝撃荷重を載荷することとしていることより、1ブロック全てを要素分割している。

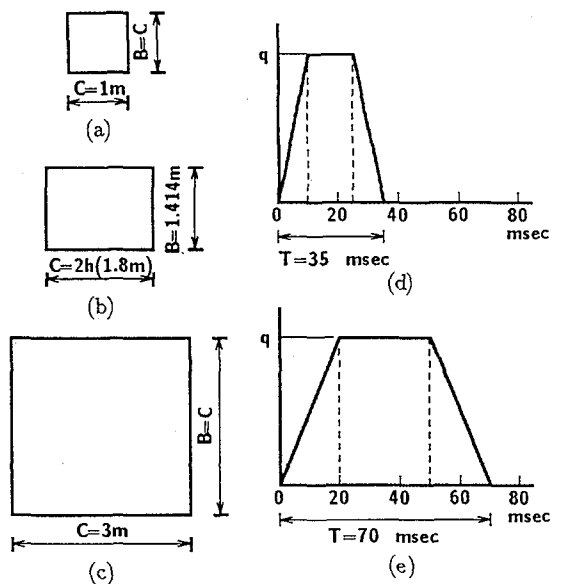


図-4 荷重の分布状況

表-1 荷重ケース

断面方向分布幅	軸方向分布幅	載荷時間
$C = 1 \text{ m}$	$B = 1 \text{ m}$	$T = 35 \text{ msec}$
$C = 1.8 \text{ m}$	$B = 1.414 \text{ m}$	$T = 35 \text{ msec}$
$C = 3 \text{ m}$	$B = 3 \text{ m}$	$T = 70 \text{ msec}$

要素分割は荷重載荷点位置によって多少異なるが、その総数は全ての解析ケースにおいて7000程度である。その一例として図-2に中央部載荷時の要素分割状態を示している。なお、図-3には参考のためにF.S.M.を用いた解析における中央部載荷時の要素分割図を示している。底版底部の境界条件に関しては、実証実験結果¹⁾より基礎地盤の影響が少ないことが明らかになっていることにより、F.S.M.による解析¹⁾の場合と同様、基礎地盤を無視し、底版の端辺を上下方向に拘束している。また、覆工の弾性定数はヤング率 $E = 3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2$ 、単位体積重量 $\omega_c = 2.5 \text{ gf/cm}^3$ と仮定している。座標系は図-2に示しているように道路軸方向を x 、道路軸直角方向を y 、上下方向を z 軸としている。なお、本文では x 軸方向を軸方向あるいはスパン方向、 y 軸方向を断面方向と呼んでいる。

2.2 衝撃荷重分布

本研究では最大衝撃力 $P_0 = 50 \text{ tf}$ の衝撃荷重が緩衝材によって分散し、部分分布の状態では覆工頂版上に作用するものとして解析を行うこととした。覆工頂版上への載荷の状態は、緩衝構造によって異なることにより、ここでは3つの異なる空間分布、時間分布を有する衝撃荷重を対象として検討を行うこととした。以下に仮定した

衝撃荷重の概要を示す。

1) 緩衝材として敷厚 $h = 90$ cm の敷砂単層を仮定し、衝撃荷重を落石対策便覧に則して幅 $2h$ ($C = 1.8$ m) に分散分布すると仮定する場合：

解析では図-4(b) に示すように断面方向に幅 $2h$ ($C = 1.8$ m)、軸方向に幅 $\pi h/2$ ($B = 1.414$ m) とし、半径 h とする円形分布と等価な矩形分布としている。また時間方向分布は、落石対策便覧では特に規定していないが、実証実験結果⁵⁾ 及び吉田等の研究成果⁷⁾ を参考にして載荷時間が $T = 35$ msec の台形状分布としている(図-4(d))。なお、本荷重ケースは、覆工の軸方向中央部載荷時における DYNA3D と F.S.M. による解析結果の比較と、荷重を断面方向中央部に沿って軸方向に移動させた場合の最大断面力分布の検討のために用いている。本荷重ケースを簡略化して $C = 1.8$ m の場合と呼ぶ。

2) 敷厚 $h = 90$ cm とした敷砂単層の緩衝性能実験結果に基づいて、衝撃荷重の分散幅を $C = 1$ m と仮定する場合：

衝撃荷重は同心円上に分散分布すると考えられるが、本研究では簡略化して 1 m 四方に正方形分布するものと仮定した(図-4(a))。また衝撃荷重の時間方向分布は実験結果に基づき $C = 1.8$ m の場合と同様 $T = 35$ msec と仮定する(図-4(d))。この荷重ケースを簡略化して $C = 1$ m の場合と呼ぶこととする。

3) 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(発泡スチロール材、単位体積重量 $\omega_s = 20$ kgf/m³) の緩衝性能実験結果に基づいて、衝撃荷重の分散幅を $C = 3$ m と仮定する場合：

性能実験では 4 m 四方の緩衝構造を用いて行い、ほぼ均等な伝達衝撃応力分布が得られているが、本解析では安全側で検討することとし、分散幅を $C = 3$ m と仮定している(図-4(c))。また時間方向分布に関しては、重量 3 tf の重錘を高さ 30 m から落下させた場合の各種三層緩衝構造の性能実験結果⁶⁾ によれば荷重継続時間が 70 msec 以上となっていることより、本解析では簡略化して敷砂緩衝材の場合(図-4(d)) の時間分布と相似な台形状分布とし、全載荷時間を $T = 70$ msec と仮定した(図-4(e))。本荷重ケースは簡略化して $C = 3$ m の場合と呼ぶ。

2)、3) の載荷ケースは、主に衝撃荷重が断面方向中央部、軸方向任意点に載荷する場合の最大断面力分布を検討するために用いている。以上の荷重ケースを表-1 に整理している。

2.3 解析理論

本解析に用いられている衝撃解析用汎用プログラム DYNA3D はローレンスリバモア国立研究所において開発された有限要素法による三次元非線形衝撃応答解析コードである。本解析コードは時間積分を中心差分に基づ

く陽解析法で行い、解析時間刻みが Courant 条件を満たすようにコード内で決定されている。また要素積分は計算時間を短縮するためにガウスの 1 点積分法を用いており、減衰は考慮していない。その他の特徴は文献 3) に詳細に述べられていることより、ここでは省略することとする。なお、本解析では全て 8 節点ソリッド要素を用いている。また、緩衝材の質量によって覆工の固有振動周期も多少長くなるものと考えられるが、本研究ではいずれの荷重載荷に対しても緩衝材の質量を無視し、直接覆工頂版上に仮定した衝撃荷重を載荷させ解析を行うこととした。

一方、DYNA3D による解析結果との比較のために用いられている F.S.M. を用いた解析は、文献 1)、2) と同一の要素、解析過程に従って行っている。その概要を述べると、基本となる薄板要素の剛性方程式は、線形な面内変形と梁のたわみ関数に等しい面外変形を仮定して、それぞれ平面応力状態および薄板の曲げの動的基礎微分方程式に Galerkin 法を適用して誘導されている。さらに軸方向に有限 Fourier 変換を施し、両端単純支持の境界条件に留意して像関数に関する運動方程式に変換している。解析はこれにモード解析法を適用し、さらに有限 Fourier 変換の逆変換を施すことによって行っている。なお、数値解析は断面方向の全ての自由度に対する固有値を考慮して行っている。

解析は、図-1 の美幌覆道の 1 ブロックを対象とすることより、文献 1) と同様に最低次固有振動周期を実測結果 ($50 \sim 70$ msec) に近似させるように仮想スパン長(解析時の軸方向スパン長)を 30 m とする単純支持箱型構造にモデル化している。また海側開口部も質量および断面方向の剛性を平均化するようにし、要素の単位体積質量、弾性係数を他の部材の $7/12$ に低減している。また緩衝材として用いられている敷砂の質量、剛性は DYNA3D の解析と同様考慮していない。減衰定数は全ての固有値に対して一定とし、 $h_r = 0.05$ と仮定した。

3. 数値解析結果

3.1 DYNA3D と F.S.M. の解析結果の比較

ここでは落石対策便覧に基づいて仮定した $C = 1.8$ m の場合の衝撃荷重を覆工ブロックのスパン中央部に載荷させた場合について、覆工をより忠実にモデル化して行った DYNA3D による解析結果と比較する形で、簡易な立体解析手法である F.S.M. による解析結果の妥当性の検討を行った。以下、各項目に関する検討結果について述べる。なお、DYNA3D による解析結果において、頂版部、底版部と壁部の隅角部の断面力は、各応力成分の断面力への寄与成分が明確でないことより、ここでは算定しないこととしている。それに対して F.S.M. による解析結果は、その理論が薄板理論を適用して定式化されていることより、板厚中心線を結んだ板要素と壁要素との

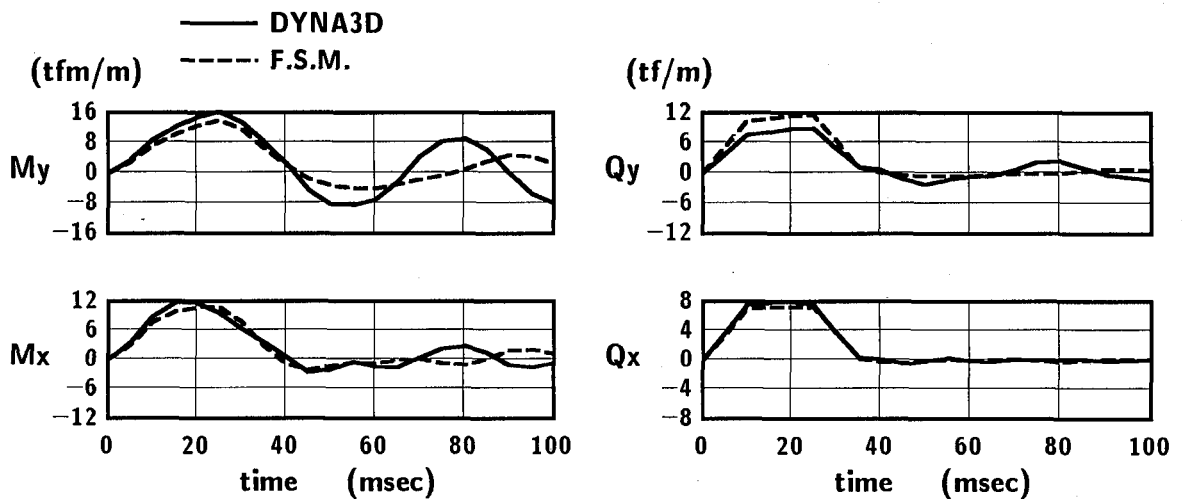


図-5 $C = 1.8$ m の荷重を軸方向、断面方向中央点に載荷した場合の各断面力の時刻歴波形

交点までの断面力値が評価されている。

(1) 軸方向中央部載荷時の応答性状

図-5には、衝撃荷重を覆工中央部に載荷した場合の各断面力の時刻歴波形を F.S.M. による解析結果と比較して示している。My, Mx は軸方向中央部の断面方向中央点における値であり、Qy は最大応答値が発生する断面方向荷重載荷端部での応答値である。また、Qx は荷重の軸方向載荷端部の断面方向中央点の応答値である。図より荷重載荷時 ($t \leq 35$ msec) の応答波形は DYN3D と F.S.M. と両者類似の挙動を示していることがわかる。最大応答値の発生時刻は Mx において多少ずれが認められるが、他の断面力に関しては両者ほぼ等しいことがわかる。DYN3D による各断面力の最大応答値は、Qy を除いて F.S.M. に対して約 1.1 ~ 1.2 倍程度大きな値となっている。一方、Qy は 0.74 倍と F.S.M. による解析結果を下回っている。また荷重除荷後の挙動に関しては、Qy, Mx, Qx は両解析結果とも小さな応答値を示している。一方 My は、DYN3D の場合には荷重載荷時の 1/2 程度の振幅となっており、F.S.M. による解析結果よりも減衰の程度が小さいようである。これは、DYN3D において減衰項が考慮されていないことが主な原因であるものと考えられる。

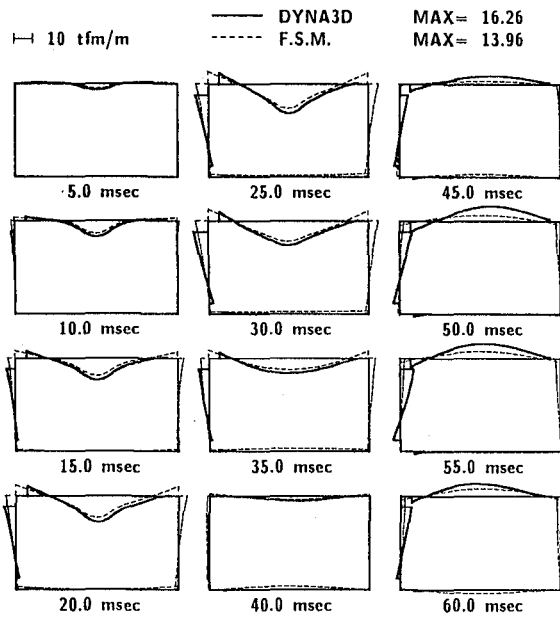
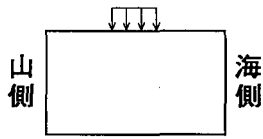
図-6には、DYN3D と F.S.M. による軸方向中央部断面における各断面力の経時変化を比較して示している。ただし DYN3D の解析結果において、海側側壁部の断面力分布は開口部で要素がなく算定不可能であることより示されていない。図-5 で示したように、DYN3D と F.S.M. による解析結果は最大応答値が若干異なるものの、両者類似な応答性状を示すことが図-6 から確認できる。また、両解析結果において My に関しては、頂版のみならず山側側壁部においても無視できない応答値となっているが、他 Qy, Mx, Qx は頂版のみに大きな応答値が発生していることが示されている。これより詳細な解析法の 1 つである DYN3D による解析結果と比較

しても、簡易な立体解析手法の 1 つである F.S.M. による解析結果は妥当な値を示していることが確認できる。

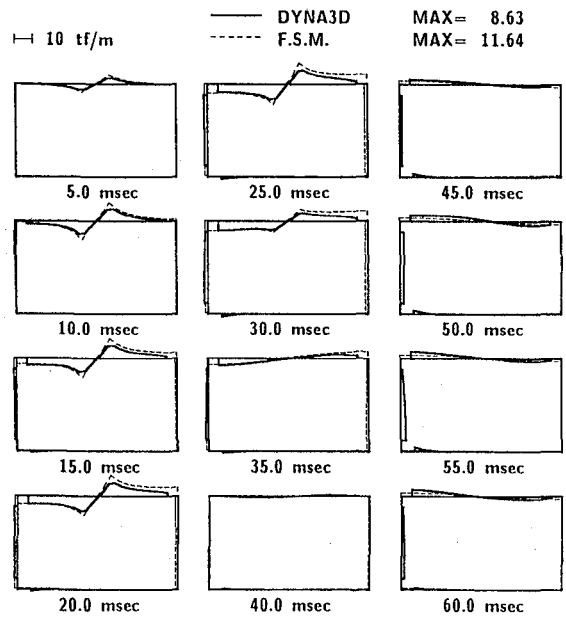
(2) 軸方向中央部任意点載荷時の断面力の最大値包絡線分布

図-7は、軸方向中央部頂版各点に $C = 1.8$ m の場合の荷重を載荷した場合の各断面力の最大値包絡線分布を示している。各断面力に関する着目断面は、図-5, 6 と同様である。ここでは、軸方向中央部頂版の 1 1 箇所を上記分布荷重を載荷し、各載荷状態毎に荷重載荷点部の要素分割を細かくするようにして解析を行っている。

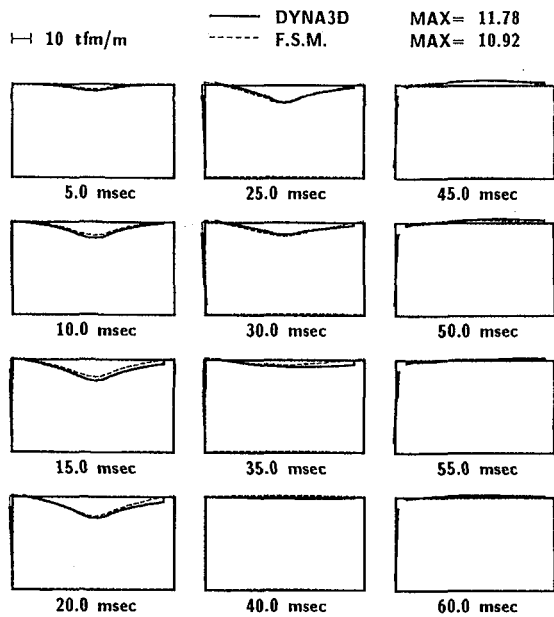
解析の結果、図-7に示されているように、頂版の負載荷状態における My の応答値は、DYN3D による解析結果が F.S.M. のそれより 2 倍程度大きく示されている。なお、ここで正載荷状態は荷重が静的に鉛直下方に載荷された状態を、負載荷状態は荷重が静的に鉛直上方に載荷された状態を意味することとする。これは、前述のとおり DYN3D において減衰を考慮していないことが主要な要因であると考えられる。また断面中央部における正載荷状態の最大値は、DYN3D による解析結果が F.S.M. による結果に比べ 1.2 倍程度大きな値となっている。DYN3D による Qy に関する解析結果は F.S.M. による解より小さくなっている。これは、DYN3D による解析が実構造を忠実にモデル化して行われているのに対し、F.S.M. による構造解析が各要素の中立軸を結んで得られる軸線を用いて行うため、柱部の軸線より内側部分に作用する衝撃荷重も頂版上載荷として評価されるため、特に側壁近傍において過大評価になったものと考えられる。Mx に関しては、DYN3D による解析結果が中央部より海側頂版に向かってほぼ一様な分布を示しているのに対し、F.S.M. による解析結果は中央点に関してほぼ対称でゆるやかに減少する分布となっている。これは、DYN3D の場合には開口部も忠実にモデル化していることより海側側壁中央部の剛性が低下するのに対し、F.S.M. による解析の場合には開口部を側壁全



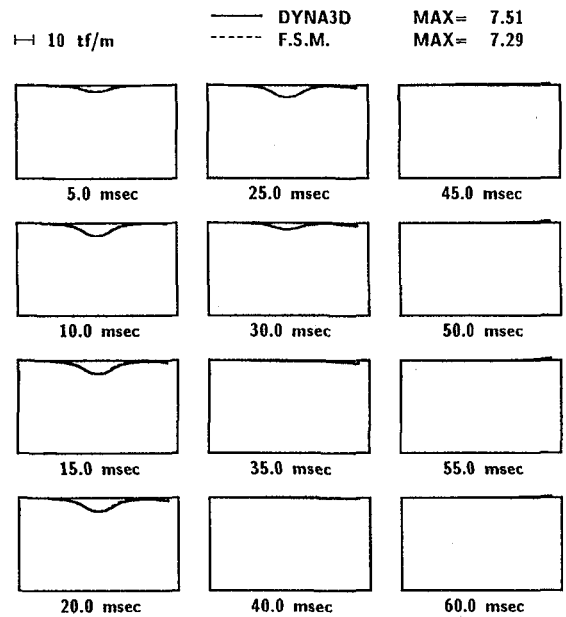
(a) My 分布の経時変化



(b) Qy 分布の経時変化



(c) Mx 分布の経時変化



(d) Qx 分布の経時変化

図-6 C = 1.8 m の荷重を軸方向、断面方向中央点に載荷した場合の断面力の経時変化

体について等価剛性を有する板として評価していることより、海側側壁中央部の剛性が大きく評価されたためと考えられる。これより側壁に開口部がある場合あるいは側壁が柱状となっている RC 覆工の断面力を F.S.M. を用いて評価する場合には、その近傍の頂版部 Mx は中央部の応答値と同程度の値に補正しなければならないものと考えられる。Qx は両解析結果とも類似の分布値になっ

ている。

以上より、本解析結果のように実構造に則して解析した結果に対して F.S.M. による解析結果は、断面力の最大値包絡線分布を求める場合に対しても、My に関しては 0.2 程度の割増しと Mx に関しては中央部から海側頂版に向かって一様分布とする等の補正を行うことにより十分適用可能であることが明らかになった。

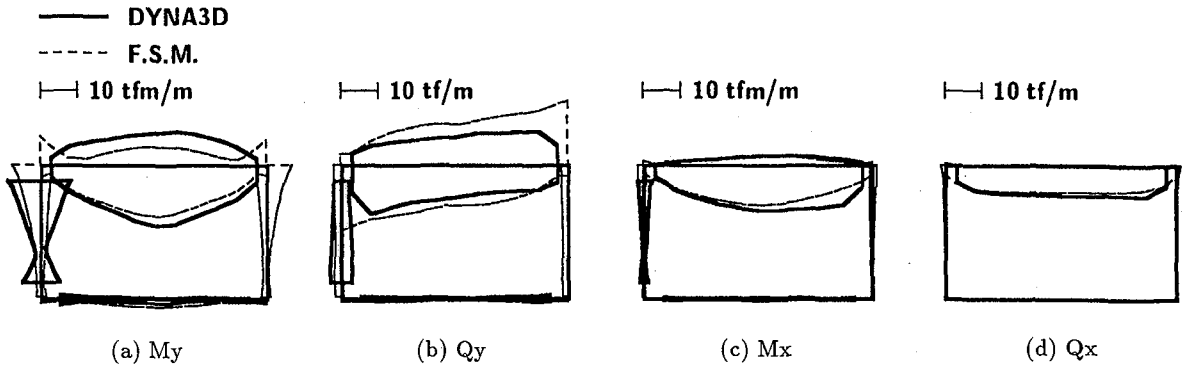


図-7 C = 1.8 m の荷重をスパン中央部の頂版各点に載荷した場合の各断面力の最大値包絡線分布

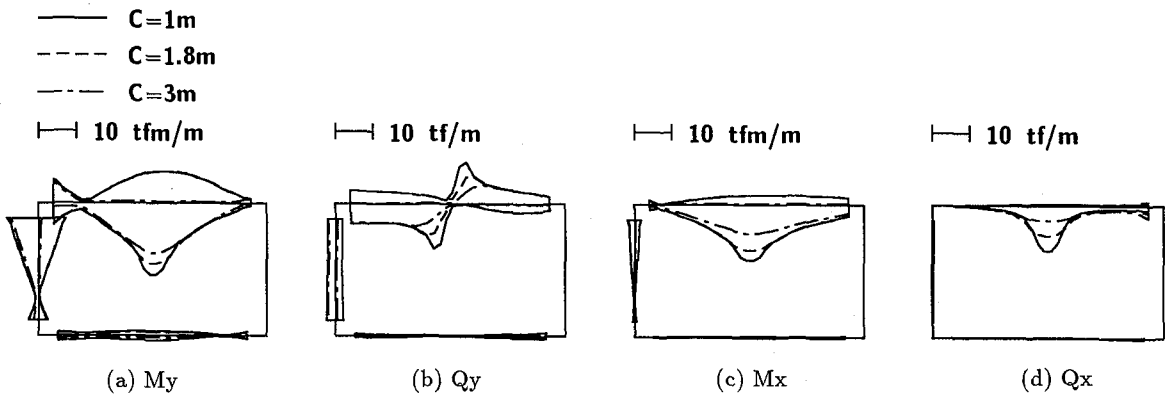


図-8 覆工中央部載荷時の断面力の最大値包絡線分布

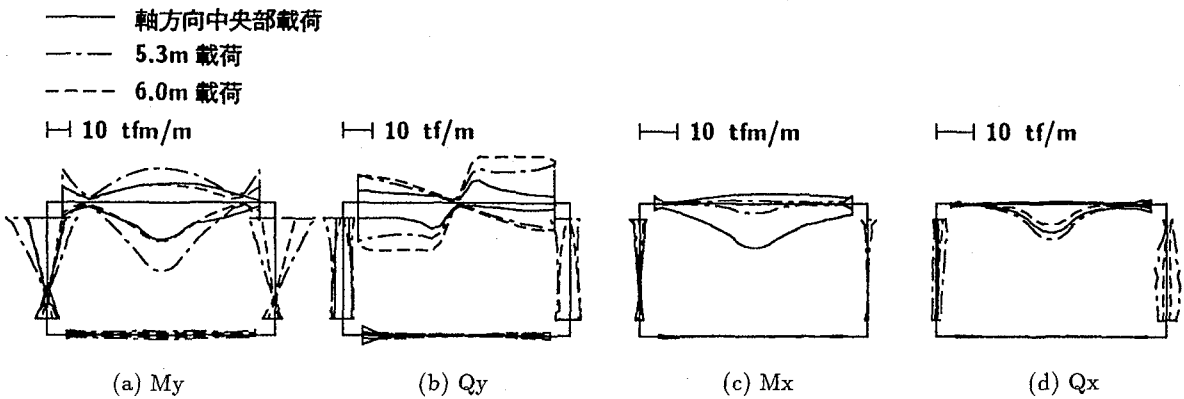


図-9 C = 1.8 m の荷重を断面方向中央部軸方向各点に載荷した場合の各断面力の最大値包絡線分布

表-2 各荷重ケースにおける最大応答値

荷重ケース	My(tfm/m)	Qy(tf/m)	Mx(tfm/m)	Qx(tf/m)
C=1m	19.25	12.14	14.80	12.14
C=1.8m	16.26	8.63	11.79	7.51
C=3m	13.44	5.93	7.71	4.01

3.2 衝撃荷重が断面中央部，軸方向任意点に作用する場合の応答特性

前節では衝撃荷重が軸方向中央部の断面方向任意点に

作用する場合について F.S.M による解析結果の妥当性について検討を行った。ここでは RC 覆工頂版上の断面方向中央部，軸方向任意点に衝撃荷重が作用する場合における覆工の衝撃応答特性について DYN3D を用い、荷重種類を変えて検討を行うものとする。

(1) 覆工中心部載荷時の断面力分布

ここでは断面方向中央部，軸方向任意点に衝撃荷重が載荷する場合の応答解析の前段階として、覆工中心部に衝撃荷重が載荷する場合の荷重ケースの違いによる断面力の応答分布性状について検討を行った。解析結果は、正負方向の断面力の最大値包絡線分布図の形に整理している。図-8 に各荷重ケースに対する各断面力の解析結

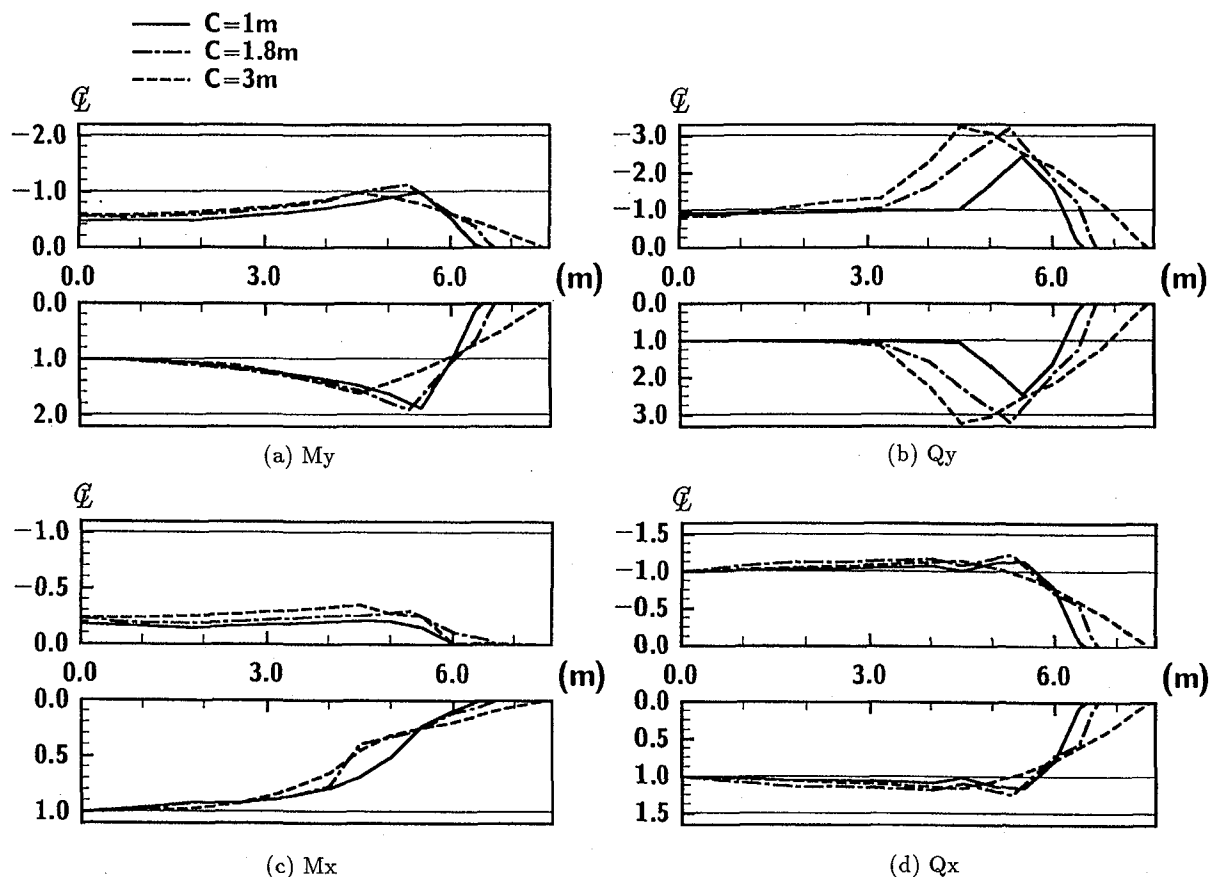


図-10 頂版中央部のスパン各点に載荷した場合の各最大断面力の無次元包絡線分布

表-3 断面力の最大応答倍率

荷重ケース	My	Qy	Mx	Qx
C=1m	1.88 (36.23)	2.45 (29.80)	1.00 (14.80)	1.15 (13.93)
C=1.8m	1.92 (31.13)	3.19 (27.57)	1.00 (11.79)	1.24 (9.32)
C=3m	1.62 (21.77)	3.25 (19.25)	1.00 (7.71)	1.15 (4.70)

注) () : 実応答値, My, Mx : tfm/m, Qy, Qx : tf/m

果を比較して示している。図より、 $C = 1\text{ m}$ 、 1.8 m の場合には荷重の分布幅の大きさに対応して、いずれの断面力も載荷点部の応答値が局所的に大きくなっていることがわかる。一方、 $C = 3\text{ m}$ の場合には局所点が示されず、いずれの断面力に関してもなめらかな分布性状となっていることがわかる。表-2には各荷重ケースに対する断面力の最大応答値を一覧に示している。

(2) 断面方向中央部軸方向各点載荷時の断面力分布

荷重の載荷点を断面方向には中央部に限定し、軸方向に移動させた場合の各断面力の正負の最大値包絡線分布について、 $C = 1.8\text{ m}$ の荷重ケースを対象として検討を行った。

解析結果を図-9に示す。ここでは軸方向中央部に載荷した場合に対する自由端近傍部載荷時の結果が重要であると考え、1) 軸方向中央部載荷 (図中、軸方向中央部載荷)、2) 荷重の軸方向端部と覆工の自由端が一致する場合 (図中、 5.3 m 載荷)、3) 荷重の中心点が覆工の自由端と一致とする場合 (図中、 6.0 m 載荷) の3ケースを取り上げ比較を行っている。なお、 Q_x を除いた各断面力は荷重の中心点と一致する覆工断面内における分布であり、 Q_x は荷重の軸方向端部と一致する覆工断面内の分布である。図-9より、載荷位置によって最大応答値は異なるものの各断面力の分布性状はいずれも類似の性状を示していることがわかる。この傾向は他の $C = 1\text{ m}$ 、 3 m の荷重ケースを載荷する場合にも同様であることを確認している。これらの結果より、軸方向任意点に荷重が載荷する場合の覆工の応答性状は、覆工中央部載荷時の最大応答値を基準として検討することが可能であるものと考えられる。

(3) 断面方向中央部軸方向各点載荷時の各断面力の応答倍率

ここではRC覆工の断面設計のための断面力の算定をより正しく評価するために、衝撃荷重載荷位置を断面方向中央線に沿って軸方向に移動させた場合の各断面力の応答倍率について検討を行うこととする。応答倍率の基準値には軸方向中央部載荷時の最大応答値を採用してい

る(表-2)。図-10に荷重の中心点を横軸にとった場合の各断面力の応答倍率分布を示している。なお、覆工がスパン中央点に関し対称な構造になっていることより、スパンの1/2のみを示し、中央点を原点として整理している。各断面力の応答倍率は覆工断面に生じる最大断面力を用いて評価している。実数値解析では、 Q_x を除く各断面力に関しては、荷重端が覆工の自由端近傍に達するまでは荷重の中央点に一致する断面の値が、荷重がさらに自由端方向に移動する場合には自由端断面における値が用いられている。また Q_x に関しては常に荷重端と一致する断面の値が用いられている。

図より、 M_y の正載荷状態の応答倍率は、荷重端が自由端に達するまでゆるやかに増加し、荷重の減少とともにほぼ線形に減少している。 Q_y の正側の応答倍率は $C = 1.8\text{ m}$ 、 3 m の場合はスパン中央点より 3 m 近傍、 $C = 1\text{ m}$ の場合は 4.5 m 近傍までほぼ1となっている。その後、荷重端が自由端に達するまで増大して最大値を示し、荷重の減少とともにほぼ線形に減少している。また、負側の応答倍率は正側の性状と類似であるが、倍率は若干正側の値より大きく示されている。一方、 M_x の正載荷時の応答倍率は、いずれの荷重に対しても中央部載荷時を最大にしてゆるやかに減少していることがわかる。 Q_x は正負の応答倍率とも荷重端が自由端に達するまでの範囲で最大1.2程度の荷重倍率を示し、その後荷重の減少とともにほぼ線形に減少している。

最大応答倍率およびその時の断面力を一覧にして示すと表-3のように示される。断面設計上重要と考えられる M_y 、 Q_y に言及すると、 M_y に関しては $C = 1\text{ m}$ 、 1.8 m 荷重の場合が1.9前後の値を示し、載荷幅の広い $C = 3\text{ m}$ の場合は1.6程度と前者と比較して小さくなっている。絶対値で比較すると $C = 1\text{ m}$ の場合が最も大きく、 $C = 3\text{ m}$ の場合はこの60%程度の値になっている。 Q_y に関しては載荷幅が広がるほど応答倍率が大きくなっていることがわかる。しかしながら、絶対値は逆の傾向であり、 $C = 3\text{ m}$ の場合は $C = 1\text{ m}$ の場合の65%程度の値となっている。

4. まとめ

実RC覆工は長さ12m(北海道地域)で端部が自由境界の互いに独立なブロック構造となっている。本研究では、このようなRC覆工構造に対して、落石による中央部載荷のみならず、自由端載荷時の動的挙動をも考慮した合理的な断面力評価法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、衝撃解析用汎用プログラムであ

るDYNA3Dを用いた、より詳細な弾性衝撃応答解析を行い、断面力特性について数値的に検討を行った。本研究により得られた結果を整理すると以下ようになる。

- 1) 覆工中央部載荷時の覆工中央断面における断面力の算定に関し、簡易な立体解析手法である有限帯板要素法は若干の補正と割増しを行うことにより工学的に十分適用可能であることが確認された。
- 2) 代表的な三つの衝撃荷重に対し、軸方向中央部載荷時の最大断面力を基準値にとり、荷重を頂版中央線に沿って軸方向に移動させた場合の各断面力の最大応答倍率に関する分布図を求めることができた。
- 3) 本研究により、軸方向中央部載荷時の断面力の最大値に関する包絡線分布図と、前述の軸方向の最大応答倍率に関する分布図を併用することによりRC覆工ブロックのより正確な断面力評価が可能になるものと考えられる。

最後に本研究を行うにあたり、室蘭工業大学大学院生の角掛久雄君に多大なる御支援を戴きました。ここに記して謝意を表するものであります。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 中野 修, 松岡健一, 菅田紀之: RC覆工の衝撃応答解析法の適用性に関する実証的検討, 土木学会論文報告集, No. 483/I-26, pp. 97~106, 1994.1.
- 2) 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力算定に関する一考察, 土木学会論文報告集, No. 495/I-28, pp. 73~82, 1994.7.
- 3) Hallquist, J.O.: Dyna3D User's Manual, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID-19592, Rev.4, 1988.4.
- 4) 日本道路協会: 落石対策便覧, 日本道路協会, 1983.
- 5) 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.
- 6) 田村富雄, 岸 徳光, 佐藤昌志, 中野 修, 渡辺明: AFRPロッドを補強筋としたRCスラブをを芯材とする三層緩衝構造の緩衝特性, 構造工学論文集, Vol. 40A, pp. 1631~1638, 1994.3.
- 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について, 土木学会論文報告集, 第362号/I-4, pp. 461~470, 1985.

(1994年9月14日受付)