

I-31 有効幅を用いた RC 落石覆工の断面力算定に関する一考察

室蘭工業大学 正 員 菅田 紀之

1. はじめに

落石覆工の設計指針となるものとしては、落石対策の基本的な考え方を述べた昭和 58 年度版落石対策便覧¹⁾がある。現在、落石によって衝撃荷重を受ける RC 覆工の断面力評価は、同便覧に従い以下のように行われている。

- 1) 落石によって発生する衝撃力は次式 (1) を用いて算定する。

$$P = 15.49W^{2/3}H^{3/5}\alpha \quad (1)$$

ここで P : 衝撃力 (tf), W : 落石重量 (tf), H : 落下高さ (m), α : 敷砂厚による割増係数
敷砂厚は 90 cm を標準とし、90 cm 以下とする場合には割増係数を用いて衝撃荷重の割増す。

- 2) 算定された衝撃力は敷砂材表面に集中荷重として作用し、覆工頂版上には緩衝材厚を半径とする円形領域に等分布荷重として作用する。解析では、これを簡略化して矩形分布に置換している。
3) 断面力は、覆工を単位幅を有する平面骨組構造にモデル化し、荷重を部材に対し最も不利となる位置に載荷させ、静的解析により算定する。

一方、落石による衝撃荷重を受ける覆工の動的応答解析^{2),3)}および衝撃応答解析法の覆工への適用性の検討⁴⁾より、衝撃荷重を受ける覆工を動的解析した場合には、静的解析結果よりも大きな応答を示し、負荷荷状態の応答は正載荷状態の応答に近い値になることがある。また、有限帯板法による立体解析結果が実証実験結果とよく一致することが明らかになった。これらの結果より、落石によって衝撃荷重を受ける覆工の設計のための断面力評価は、動特性と三次元効果を考慮して行わなければならないことが示唆され、有効幅を用いて動特性と三次元効果を考慮した静的平面骨組解析を基本とする断面力算定法を提案した^{3),5)}。

本論文では、提案した断面力算定法に基づき、落石によって発生する衝撃荷重に対する RC 箱型覆工のスパン中央部断面における設計断面力の算定を試みた。また、現行設計法に従った断面力の算定も行い、両者の比較検討を行った。

2. 衝撃荷重を受ける RC 覆工の断面力算定法

文献 3) および 5) において提案した断面力算定法は以下のとおりである。

- 1) 動特性および三次元効果を考慮できる動的立体解析法を用いて、落石荷重が作用すると予想される任意点に衝撃荷重を載荷させ、断面力の最大値に関する包絡線分布を求め、静的立体解析結果の最大値 (頂版中央点載荷時の最大値とする) に対する応答倍率で整理する。この分布図を覆工の規模、荷重載荷幅、荷重継続時間ごとに作成しておく。
2) 静的立体解析による最大値を静的平面骨組解析を用いて評価するために、有効幅の概念を導入する。有効幅は、静的立体解析による解析結果と有効幅を有する平面骨組構造の静的平面骨組解析による結果が等価であるとして求める。その値を覆工の規模および荷重載荷幅に応じて決定しておく。
3) 実務者は、与えられた覆工に対して 2) より得られる有効幅を用いて覆工を平面骨組構造にモデル化して静的平面骨組解析を行い、基準となる最大断面力を決定する。この値を 1) より与えられる断面力の無次元包絡線分布に乗じて、動的立体解析と等価な最大断面力分布を算定する。

図-1 に示す落石覆工を基本として、頂版厚 h を 0.7 m から 1.3 m まで 0.2 m 間隔で変化させた四種

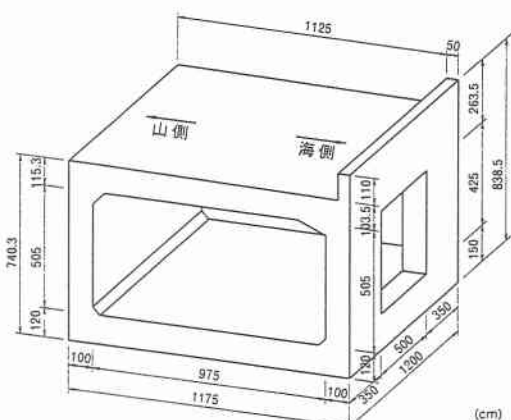
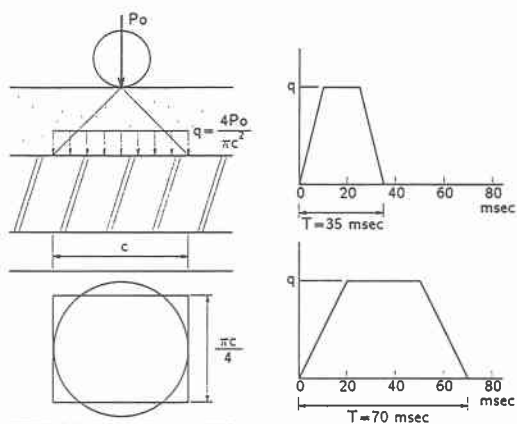
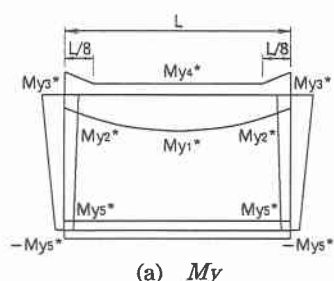


図-1 落石覆工の形状寸法

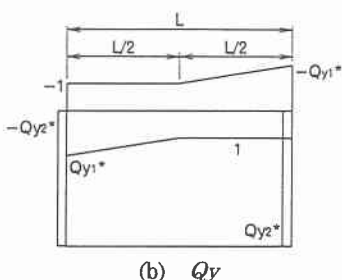


(a) 荷重の緩衝材による分布 (b) 荷重の時間分布

図-2 載荷衝撃荷重



(a) M_y



(b) Q_y

図-3 簡略化した無次元包絡線分布

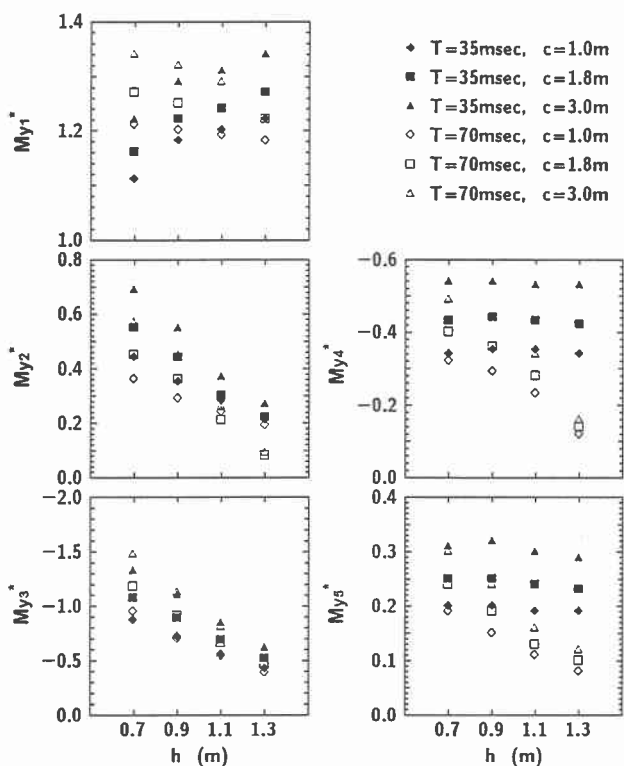


図-4 各断面における M_y 応答倍率

類の覆工規模、図-2に示す載荷衝撃荷重において荷重載荷幅 c を 1.0 m, 1.8 m, 3.0 m, 荷重継続時間 T を 35 msec, 70 msec とする場合のスパン中央部における断面方向断面力 (M_y : 断面方向曲げモーメント, Q_y : 断面方向せん断力)の簡略化した無次元包絡線分布および有効幅を示すと図-3~6 のようになる。

3. 設計断面力の算定

提案した断面力算定法に基づき、落石によって発生する衝撃荷重に対する RC 箱型覆工のスパン中央部断面における設計断面力の算定を試みる。試算を行う覆工の形状寸法は図-1を参考に決定した。以下に算定条

件を示す。1) 覆工の頂版厚は 1.0 m とし、その他の形状寸法は図-1 に従う。2) 覆工頂版上に緩衝材として 90 cm 厚の敷砂材が設置してある。3) 頂版上に落下する落石の重量 W は 1 tf、落下高 H は 10 m とする。

以上の条件から、落石によって発生する衝撃力 P は式 (1) を用いて

$$P = 15.49 \times 1^{2/3} \times 10^{3/5} \times 1 = 61.7 \text{ tf}$$

と算定される。また、衝撃荷重の緩衝材による分散幅および継続時間は、野外実験結果⁶⁾に基づき $c = 1 \text{ m}$ 、 $T = 35 \text{ msec}$ であるものと仮定する。したがって、平面骨組解析における載荷荷重強度は $q = P/c = 61.7/1 = 61.7 \text{ tf/m}$ となる。平面骨組構造にモデル化する場合の有効幅は、図-6 において頂版厚 $h = 1 \text{ m}$ 、荷重分布幅 $c = 1 \text{ m}$ の条件で求めると、 M_y に対しては 5.9 m、 Q_y に対しては 1.35 m となる。なお、図中の各点間は直線近似している。

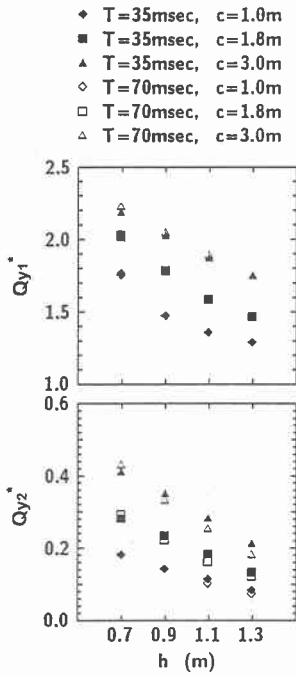
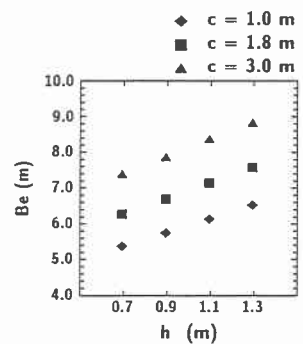
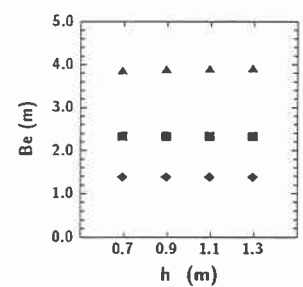


図-5 各断面における Q_y の応答倍率



(a) M_y に関する有効幅



(b) Q_y に関する有効幅
図-6 有効幅

この有効幅を用いて覆工を平面骨組構造にモデル化し、荷重を頂版中央部に載荷して静的平面骨組解析を行うと、曲げモーメント分布およびせん断力分布は図-7 のようになる。解析において、覆工の支持条件は、解析を簡略化するために地盤反力係数を無視し底版の両端を単純支持と仮定している。また、海側側壁における開口部要素の剛性を 7/12 に低減している。断面力の基準値である静的立体解析時の最大曲げモーメント M_{ys} および最大せん断力 Q_{ys} は、それぞれ図-7 (a) における曲げモーメントの最大値 16.8 tfm/m、図-7 (b) におけるせん断力の最大値 23.3 tf/m と求められる。次に図-3~5 において、頂版厚 $h = 1 \text{ m}$ 、荷重分布幅 $c = 1 \text{ m}$ 、荷重継続時間 $T = 35 \text{ msec}$ の条件で最大断面力の無次元包絡線分布を求めると図-8

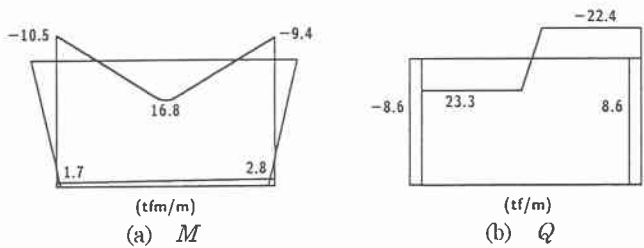


図-7 静的平面骨組解析による断面力分布

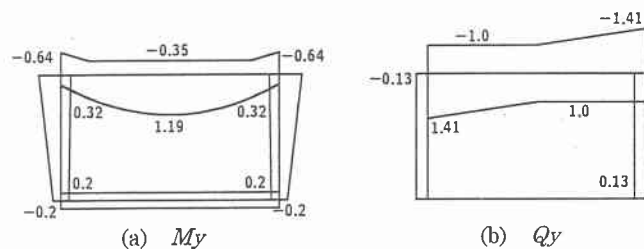


図-8 最大断面力の無次元包絡線分布

のようになる。図-8 に断面力の基準値 $M_{ys} = 16.8 \text{ tfm/m}$ 、 $Q_{ys} = 23.3 \text{ tf/m}$ を乗ずることにより、動的立体解析時と等価な最大断面力の包絡線分布が図-9 のように求められる。

現行設計法における断面力算定法に従い、曲げモーメント分布およびせん断力分布を求めると図-10 のようになる。図-10 (a) は頂版中央点載荷時 (曲げモーメントが最大)、図-10 (b) は山側頂版端部載荷時 (せ

せん断力が最大)における各断面力分布である。提案手法と現行法によって求められた各断面力値の比較を行うと、頂版中央部における最大曲げモーメントは、提案する方法では 20.0 tfm/m であるのに対して、現行法では頂版中央点載荷時に 66.1 tfm/m であり、3 倍以上の値になっていることがわかる。また、山側頂版端部におけるせん断力は、提案する方法では 32.9 tfm/m であるのに対して、現行法では山側頂版端部載荷時に 40.5 tfm/m であり、1.2 倍程度の値になっている。

4. ま と め

有効幅を用いた断面力算定法を用いて落石による衝撃荷重を受ける RC 箱型覆工の設計断面力の算定を試みた。また、現行設計法に従った断面力の算定を行い、両者の比較検討を行った。その結果、本論文で対象とした覆工規模においては、現行法によって算定された曲げモーメントは有効幅を用いる方法の3倍以上の値、せん断力は1.2倍程度の値を示した。これより、入力衝撃力が適切に評価されているものと仮定すると、現行法による断面力は、動特性および三次元効果を考慮する手法に比較して曲げモーメント、せん断力ともに過大な値を与えていることが明らかになった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、室蘭工業大学助教授 岸徳光氏には多くの助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

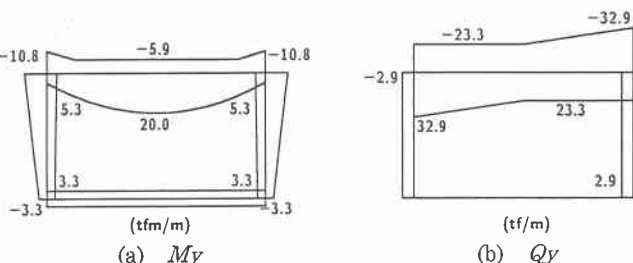


図-9 最大断面力の包絡線分布

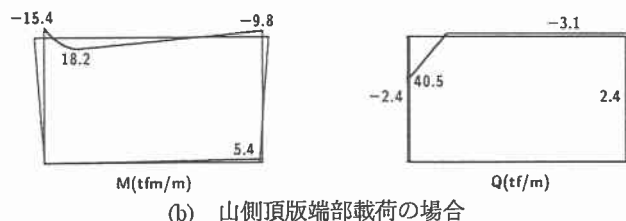
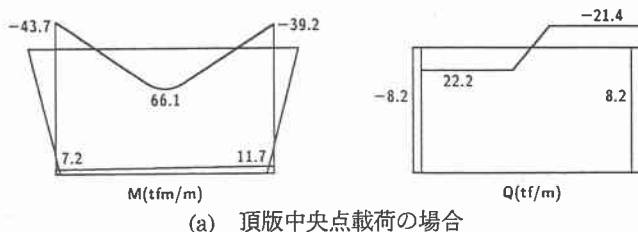


図-10 現行設計法によって求められた断面力分布

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，日本道路協会，1983.7.
- 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) 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法に関する一考察，土木学会論文集，No.495/I-28，pp.73～81，1994.7.
- 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) 菅田紀之・岸徳光・中野修・三上隆：箱型落石覆工の落石荷重に対する断面力算定法，土木学会北海道支部論文報告集，第 50 号，pp.158～163，1994.2.
- 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.