

I-793 DYN3Dを用いたルンベツ覆道の落石災害時における衝撃挙動の推定

室蘭工業大学 正員 松岡 健一 北海道開発局 正員 熊谷 守晃
北海道開発局 正員 佐藤 昌志 北海道大学 正員 三上 隆

1. はじめに 一般国道 336 号線は北海道日高支庁の太平洋に面した急峻な地形の海岸線に沿って設けられた国道で、落石等の崩落の恐れのある箇所が多く多数の落石覆道が設置されている。ルンベツ覆道もその一つである。平成 4 年 12 月 4 日未明この覆道に大規模な岩塊の崩落があり、覆道の頂版に多数のクラックが入るとともに、海側の柱にも大きなクラックが入る被害があった。本論文では、落石衝撃問題に対するこれまでの研究成果を基に、この覆道を対象として崩落土砂による衝撃荷重の推定を行うとともに、DYN3Dを用いた弾性衝撃応答解析を行い、被災時の状況を解析的に検討した。

2. ルンベツ覆道の概要 ルンベツ覆道被災地点の地形は、図-1 に示すように平均斜面高 90 m で凸凹の大きい平均傾斜約 60 度の急斜面である¹⁾。このため災害対策として昭和 54 年本覆道が建設された。設計に用いられた衝撃荷重は過去の実績を考慮して重量 1 tf の落石が高さ 20 m から落下するとして振動便覧式を用いて算定し、145 tf としている。その覆道の断面形状は RC 箱型ラーメン構造で頂版厚は 1.2 m、海岸側の壁は開口部があり、開口部の柱は中心間隔 4.0 m で断面は 1.3 m × 1.3 m の正方形断面である。基礎は直接基礎で厚さ 1.5 m、山側の壁厚は 1.5 m である。本覆道の被災状況は文献¹⁾に詳しく述べられている。今回崩落したのは図-1 に示すように、標高 55 m から 75 m にある最大のオーバーハング部で、幅が約 12 m、長さが約 20 m、最大厚さが約 7 m あり、全体ボリュームは約 400 m³と推定される。覆道の被害の状況は紙面の都合で省略する。

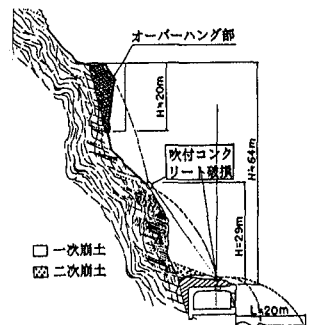


図-1 被災地点の地形

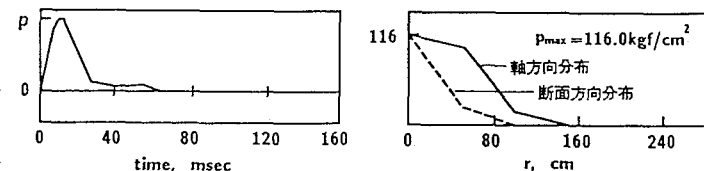


図-2 推定衝撃荷重の時間方向及び空間方向分布

3. 衝撃荷重の推定 解析に用いる衝撃荷重は、損傷に最も影響が大きいと考えられる岩塊を対象とした。この岩塊は総重量約 17 tf あり容積も約 6.5 m³

(2.85m × 2.3m × 1.0m) とかなり大きい。このような落石に対する衝撃力算定の実験データは得られていないが、著者らの研究によれば容積が同じで重量の異なる落石に対する実験結果から衝撃力は重量の 2/3~1 乗に比例することが分かっている²⁾。バウンドした地点を考慮して落下高さを 30 m として衝撃力が重量の 2/3 乗に比例するとすればこの場合の衝撃力は、重量 3 tf の重錘による衝撃力の約 3 倍となる。このためここでは著者らが過去に行った敷砂緩衝材に関する実験結果を参考に、直径 1 m、高さ約 1 m、重量 3 tf の重錘を高さ 30 m から自由落下させて得られる衝撃力分布を軸方向に 3 つ並べ、これを重ね合わせて求めている。合成し推定した衝撃荷重の時間方向分布及び平面分布を図-2 に示す。また、荷重の載荷位置を図-3 に示す。この時の衝撃荷重の合力の最大値は約 1,650 tf である。

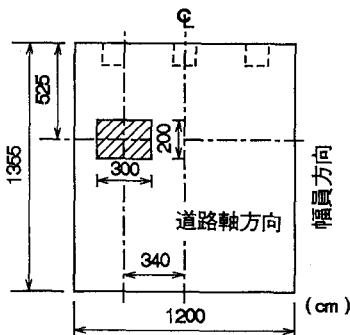


図-3 荷重載荷位置

4. 解析結果及び考察 解析は被災のあった 1 ブロック、軸方向の長さ 12 m を対象とした。なお、解析に用いたコンクリートの弾性係数及びポアソン比は、 $2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、0.2 である。

断面方向の曲げモーメント M_y 、せん断力 Q_y 及び軸力 S_y の載荷点中心を通る断面の断面方向分布の経時変化を図-4 に示す。図では柱部分の断面力は柱の幅で除し単位を揃えている。各断面力分布とも頂版から柱部へ応力が伝播

していることが示されている。各断面力の最大値は頂版では約 16 msec 付近で生じ、柱部では約 24 msec 付近で生じている。 M_y と Q_y は載荷部と柱頭部に、 S_y は柱部に大きな応答を生じていることがわかる。

ランベツ覆道的设计計算書³⁾によれば柱部分及び頂版中央断面における落石荷重による設計断面力及びコンクリート、鉄筋の応力度は表-1 のようである。表の設計断面力は自重、土圧、落石を考慮した最大値である。また表に今回の落石に対する解析値も示した。

落石荷重による解析では頂版部分の各断面力はかなり大きく、曲げモーメントの最大値は設計曲げモーメントの約 3 倍となっている。表中の応力度は塑性を考慮せずに線形として求めているが、この応力度では材料は完全に破壊しているか降伏していることになる。また、せん断応力度も設計では無視できるほど小さいが、衝撃解析ではせん断強度に近い値となっている。

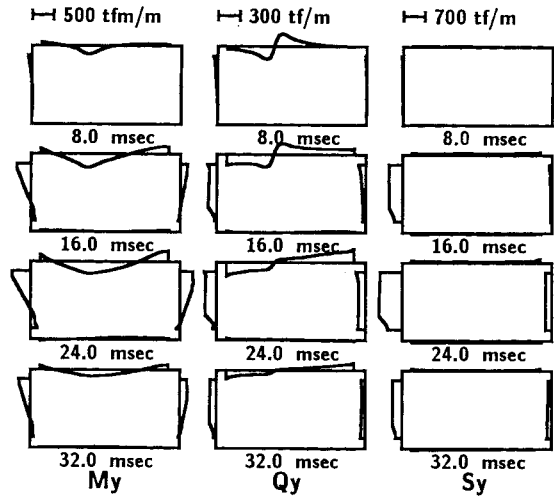


図-4 載荷中心断面の断面力の経時変化

表-1 設計値と衝撃応答解析値との比較

解析方法	応力等位置	断 面 力			応力度(kgf/cm ²)			
		曲げモーメント	軸 力	せん断力	σ_c	σ_s	σ'_s	τ_c
設計計算	頂 版 中 央	102.0tfm/m	11.2tf/m	22.0tf/m	59.0	2107	613	2.2
	柱 頭 部	258.2tfm	225.6tf	44.6tf	77.2	1180	964	3.5
衝撃解析	頂 版 中 央	317.3tfm/m	85.6tf/m	208.9tf/m	221.9	5977	1474	20.9
	柱 頭 部	574.0tfm	950.4tf	197.3tf	165.8	1035	1433	17.6

柱部分は軸力が支配的であり、各断面力とも設計値に比べかなり大きい。各材料の応力度を設計応力度と比較すると、コンクリートの応力度が曲げ、せん断ともかなり大きい、鉄筋の応力度はほぼ同程度である。柱の場合もコンクリートのせん断応力度はせん断強度に近い値である。このことは、柱部分の被害が大きくほぼ 45°の角度をもったせん断ひび割れと思われるひび割れが発達していることに符合すると思われる。

以上、DYNA3Dを用いた解析によれば、今回推定した衝撃力で頂版及び柱の破壊を説明できるようなのである。

5. まとめ ランベツ覆道の落石被害の究明のため、過去の研究成果に基づいた弾性衝撃応答解析を行い検討を加えた。破壊状態までを弾性問題として扱うことに多少問題はあるが、衝撃破壊が脆性的であることを考慮すれば、最大応答までの挙動はほぼ線形的であると思われることから、破壊直前の状況を議論することは可能と考えた。この結果得られた所見を列挙すれば、

- 1) 落石重量の 2/3~1 乗に比例するとして落石衝撃力を推定することはほぼ妥当と思われる。
- 2) 頂版では、各断面力ともかなり大きく、載荷点の曲げ及びせん断により破壊することが解析的に確認された。
- 3) 開口柱部では、軸力が卓越するとともにかなり大きなせん断力も発生するため、柱部材のせん断破壊に対する考慮が必要であることが解析的にも明かとなった。

なお、本研究に当たり多大の協力を戴いた室蘭工業大学院生角掛久雄君に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 熊谷守晃；ランベツ覆道における落石災害に関する報告、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.286~290, 1993.6.
- 2) 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.
- 3) 室蘭開発建設部；一般国道 236 号様似町地内覆道設計, 1975.