

三層緩衝構造を用いた実規模 PC 落石覆工の衝撃挙動

開発土木研究所 正員 西 弘明

開発土木研究所 正員 佐藤 昌志

室蘭工業大学 正員 松岡 健一

室蘭工業大学 正員 岸 徳光

1. はじめに

現在、北海道開発局管内における落石覆工は RC 構造のものが圧倒的に多く、全体の約 9 割を占めている。しかしながら、今後建設地の現場条件および工期短縮等の問題から、工事のプレハブ化が進んだ場合には PC 製覆工も多く建設されていくものと考えられる。PC 製覆工の安全かつ合理的設計のためには、その耐衝撃挙動を明らかにする必要があるが、PC 構造物の耐衝撃性に関しては、他の構造物同様にまだ研究段階にあるのが現状であると考えられる。一方、著者らは落石覆工用の敷砂緩衝工に代わる緩衝システムとして、敷砂、RC 版および EPS 材から構成される三層緩衝構造を開発し、各種の実験研究によりその緩衝特性について検証を行ってきた。

本論文は、三層緩衝構造の有効性を実証的に確認することを目的として、実規模 PC 製覆工上に本緩衝構造を設置して重錘落下実験を行い、荷重分担率や最大曲げモーメント値等についての検証を行ったものである。

2. 実験方法

実験は図-1 に示すように 5 連の PC 製覆工上に三層緩衝構造を設置し、重量 3 tf の重錘（直径 1 m、底部が半径 80 cm の球形）を、所定の高さから自由落下させて行っている。主桁の頂版表面上には、本体構造への伝達衝撃力を測定するため、中央部二方向に衝撃荷重載荷用ロードセルを埋設している。また、主桁および柱の軸方向曲げモーメント等を検討するため、補強筋に歪ゲージを添付している。

実験は表-1 に示すように、重錘の落下位置を 3 桁上に限定し軸方向に変化させた場合および軸方向中央点に限定し載荷桁を変えた場合の全 7 ケースについて行っている。

3. 実規模 PC 覆工および緩衝構造

本実験で用いられている PC 桁は、以下のようにして設計されたものである。すなわち、1) 2 ヒンジ逆 L 型構造とする。2) 緩衝材として敷厚 $h = 90$ cm の敷砂を用い、重量 1 tf の落石が高さ 30 m より自由落下することを想定する。3) 衝撃荷重は敷砂のラメ定数を $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ として、振動便覧式より算定した $P_0 = 119.2 \text{ tf}$ の荷重を落石対策便覧に基づき分散分布させて作用させる。4) 荷重分担は考慮しない。

三層緩衝構造の芯材として用いた RC 版（ $4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20 \text{ cm}$ ）は、コンクリートの設計基準強度 $f'_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$ で、鉄筋比約 1 % の複鉄筋断面としている。表層材の敷砂には、単位体積重量 $w = 1.638 \text{ tf/m}^3$ 、均等係数 $u_c = 4.85$ の栗丘産細骨材を 50 cm の敷厚で用いている。また、裏材の EPS 材は、単位体積重量 20 kgf/m^3 、寸法 $200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ のブロックを組合せて用いている。

4. 実験結果および考察

本研究では覆工内の応答歪が小さいことより、全断面有効状態で弾性的に挙動しているものと仮定し、主桁、柱部の曲げモーメントおよび軸力を補強鉄筋軸方向歪を用いて算定している。

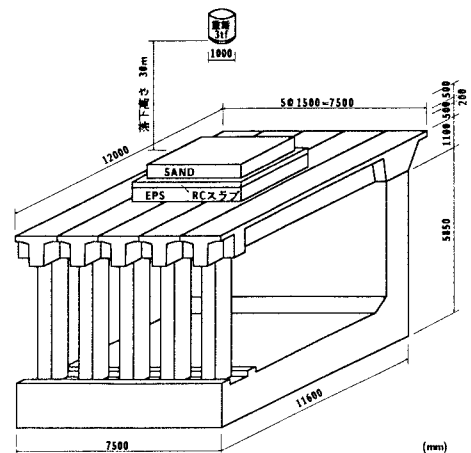


図-1 PC 覆工形状および実験状況

表-1 実験ケース一覧

実験ケースの呼称	載荷主桁番号	載荷位置	落下高 (m)
G3-3L/6-10	3	3L/6	10
G3-3L/6-20	3	3L/6	20
G3-3L/6-30	3	3L/6	30
G3-2L/6-30	3	2L/6	30
G3-4L/6-30	3	4L/6	30
G2-3L/6-30	2	3L/6	30
G4-3L/6-30	4	3L/6	30

4.1. 各主桁の荷重分担率

表－2は、主桁曲げモーメントを用いて算出した各主桁の荷重分担率の一覧である。表より、3桁載荷（G3-）における各桁の荷重分担率は、落下高さによらず載荷桁で0.25～0.28、隣接桁で0.21～0.24程度となっており、三層緩衝構造の高分散効果によって覆工全体で衝撃荷重に抵抗していることがわかる。偏心載荷の場合（G2-、G4-）には、逆対称荷重載荷成分が卓越し、特にG4-3L/6-30では端桁（5桁）が最も大きくなっている。また、G2-3L/6-30の場合には載荷桁が最も大きくなって0.34であった。これより、PC製覆工の入口や出口部の各主桁の荷重分担率は中間部主桁よりも大きな荷重分担率を課して設計しなければならないと考えられる。

4.2. 3桁の軸方向曲げモーメント

図－2には、スパン中央部落下の場合（G3-3L/6-30）における断面内曲げモーメント分布を示している。頂版における曲げモーメントは、部分分布荷重が作用した場合のように緩やかな分布状態となっている。また、桁と柱の接合部である隅角部では、零モーメントに近い状態となっており、設計とは大きく異なっている。また、柱部の曲げモーメント分布も無視できるほど小さい。さらに90 msec経過後、主桁の曲げモーメント分布は負載荷状態となっており、覆工が跳ね返り状態にあることがわかる。

表－3に、表－2の結果に基づいた曲げモーメントに関する結果と設計値を比較して示した。両者を単純には比較できないが、三層緩衝構造の緩衝効果の程度を検討するために、敢えて載荷点中央部の曲げモーメント値のみに限定し、落下エネルギーと曲げモーメントが線形関係にあると仮定して入力エネルギー比を求めると、 $((3 \times 30) / 107.8) / ((1 \times 30) / 215.2) = 5.99$ となる。これは三層緩衝構造を用いることで、設計条件に対して入力エネルギー的に約6倍の安全余裕度を保持できることを意味している。

4.3. 3桁の軸方向力分布

図－3は前節と同じケースにおける軸力分布である。桁部には静的解析では一様な圧縮力（設計値は22.7tf）が作用することとなるが、実測結果ではスパン中央近傍にのみ圧縮力（最大値約35tf）が作用している。また、柱部は中間部でほぼ一様な分布を示しており、最大応答時の値は25.8tfである。この値は最大伝達衝撃力（154tf）と3桁の荷重分担率（0.278）から算定した反力21.5tfより若干大きな値となっている。

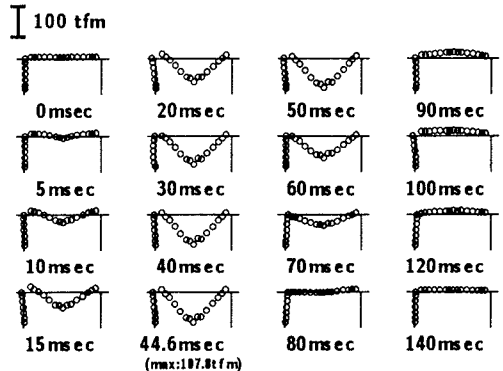
5. まとめ

本研究では、5連の実規模PC逆L型覆工を用いた衝撃実験により、三層緩衝構造の有効性を実証的に検証した。今後、三層緩衝構造の設計を含め、本緩衝構造の実覆工への適用に向けて、検討を進めて行きたいと考えている。

表－2 最大応答時主桁の荷重分担率の一覧

実験ケース	1桁	2桁	3桁	4桁	5桁
G3-3L/6-10	0.150	0.238	0.268	0.207	0.137
G3-3L/6-20	0.139	0.222	0.270	0.223	0.146
G3-3L/6-30	0.138	0.229	0.278	0.220	0.135
G3-2L/6-30*	0.140	0.237	0.252	0.230	0.141
G3-4L/6-30*	0.147	0.231	0.272	0.211	0.139
G2-3L/6-30	0.237	0.344	0.227	0.106	0.051
G4-3L/6-30	0.049	0.124	0.250	0.273	0.303

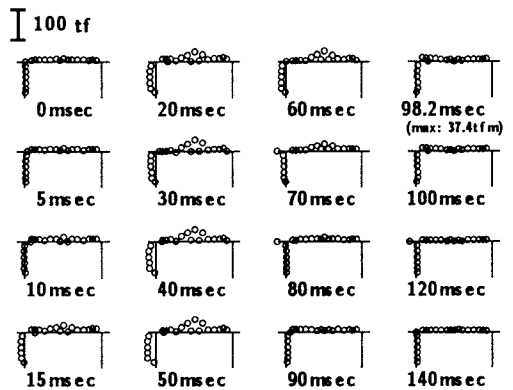
* ; 分担率は桁スパン中央部で算出



図－2 軸方向曲げモーメント分布（G3-3L/6-30）

表－3 設計値と実験値との比較（G3-3L/6-30）

項目	設計値	実験結果
落下重量 (tf)	1	3
落下高さ (m)	30	30
最大衝撃力 (tf)	119.2	154.0
全主桁中央部 M_{max} (tfm)	215.2	373.6
載荷桁中央部 M_{max} (tfm)	215.2	107.8
載荷桁の荷重分担率	1.0	0.278



図－3 軸方向力分布（G3-3L/6-30）