

RC ラーメン構造形式の衝撃挙動に関する実験的検討

Experimental study on impact response behavior of RC frame model under falling-weight impact loading.

寒地土木研究所 寒地構造チーム
 室蘭工業大学
 寒地土木研究所 寒地構造チーム
 寒地土木研究所 寒地構造チーム
 寒地土木研究所 寒地構造チーム

○正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)
 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
 正会員 岡田 慎哉 (Shin-ya Okada)
 正会員 今野 久志 (Hisashi Konno)
 正会員 石川 博之 (Hiroyuki Ishikawa)

1. はじめに

我が国の国土、特に北海道は急峻な地形を呈している。そのため、海岸線や山岳部の斜面に沿って交通網が整備されている箇所が多い。このような地理条件の下に道路を整備する場合には、可能な限り安全となるルートを選定したうえで、斜面災害に対する対策を講じることが必然である。

道路の斜面災害対策の1つとして落石防護覆道が上げられる(写真-1参照)。落石防護覆道は、比較的大きな落石エネルギーに対応した落石対策工であり、山岳道路や海岸道路などに多数設置されている。

通常、これらの覆道は斜面に想定される落石要因に応じて個別に設計されるため、想定される落石が発生しても問題はない。しかしながら、これらの土木構造物は長期に渡って供用されることとなるため、対象の斜面の経時変化により、設計当初には想定され得なかった新たな落石要因が生じる場合がある。こういった場合には、現状の覆道に補強を実施し、要求される性能を満たす、あるいは道路のルートを変更し危険箇所をかわすなどの対応が必要となる。しかしながら、これらの対応には多大な費用が必要となり、建設コストの縮減が叫ばれる中で大きな負担となっている。

ここで、現状の落石防護覆道の耐衝撃設計は、許容応力度法に基づいて行われる。その設計は、想定される落石の質量や落下高さなどの諸条件から、衝撃荷重を静的荷重に置換し、静的な断面設計を行うことで実施される。

著者らの過去の研究より、落石防護覆道の耐衝撃性能に関して、構造の限界状態までを考慮した場合には大きな安全率を有していることが明らかとなっている¹⁾。これより、限界状態設計法で落石防護覆道の耐衝撃設計を実施することが可能となれば、新設設計の場合には、合理化によって構造のスリム化が可能となり、補強設計の場合には、補強工を合理的かつ最低限に留めることができ、どちらの場合においても建設コストの縮減が見込まれる。

また、現在の土木構造物の設計思想は、限界状態設計法を経て、性能照査型設計に移行しつつある。これらのことより、落石防護覆道においても性能照査型設計の導入が急がれる。

しかしながら、現状において落石防護覆道の設計に性能照査型設計を適用するには、限界状態の規定や、性能の照査方法の確立など、課題も多い。さらに、落石防護覆道は一般的に箱型の断面を有しており、左右には柱部と側壁部、上下には頂版と底版が配され、おのおのの剛性がすべて異なるため、衝撃荷重作用時の挙動は複雑なものとなり、簡易に性能を照査することは難しい。

これらのことより、本研究では落石防護覆道の性能照査法の確立に寄与することを目的とし、小型のRC ラーメン模型(以降ラーメン)に対する重錘落下衝撃実験を行い、その衝撃挙動について検討を行うこととした。検討は、重錘衝撃力、断面変位、ひび割れ分布について静的実験結果と衝撃実験結果を比較することで実施した。



写真-1 落石防護覆道の一例

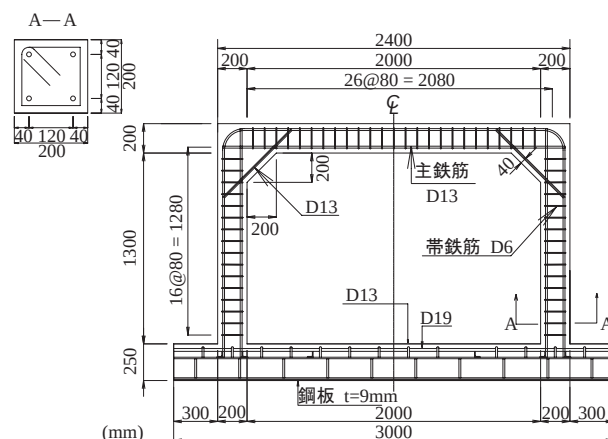


図-1 形状寸法および配筋状況



写真-2 衝撃実験状況

表-1 実験ケース（試験体）一覧

実験ケース	载荷方法	衝突速度 V(m/s)
S	静的	—
II	衝撃（繰り返し）	1,2,3,4,5
IS-4	衝撃（単一）	4
IS-5		5
IS-6		6

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、ラーメンの形状寸法を示している。ラーメンの形状は、落石防護覆道断面形状の1/4程度の大きさとしている。すなわち、梁材の断面寸法は200×200mmの正方形断面とし、梁部の純スパンを2,000mm、柱部の高さは1,500mmとしている。ラーメンの軸方向鉄筋には、落石防護覆道と同程度の主鉄筋比となるようにD13を用い、芯かぶりを40mmとしている。帯鉄筋にはD6を用い、有効高さの1/2である80mm間隔で配筋している。また、柱基部の挙動が適切に把握できるようにするため、フーチング形状については、可能なかぎり剛構造とし、柱基部の固定条件が保持されるように、覆道断面方向長さ3,000mm、覆道軸方向幅800mm、高さ250mmとする矩形体とし、鋼製のアングルを埋設している。なお、フーチング下面には厚さ9mmの鋼板を配置している。

2.2 衝撃実験概要と静载荷実験の概要

写真-2には、衝撃実験状況を示している。衝撃実験は、跳ね上がり防止治具を用いてフーチング部を固定し、梁部中央位置に所定の高さから質量300kgの鋼製重錘を自由落下させることにより行っている。

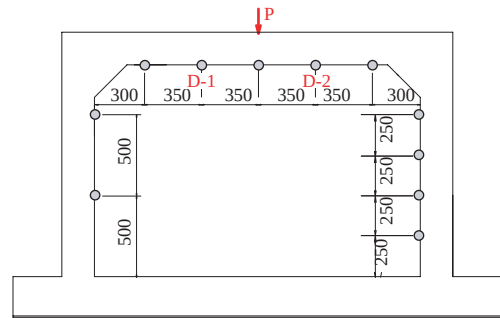


図-2 変位計測位置

衝撃荷重载荷方法は、1m/sから所定の衝突速度まで繰り返し重錘を落下させる漸増繰り返し法、所定の衝突速度で一度だけ载荷する単一载荷法により実施した。

静载荷実験は、重錘衝突時と等しいフーチング治具を用いて行い重錘径と等価となる矩形断面に油圧ジャッキを用いて载荷する方法である。表-1には、本実験の実験ケースを示している。

計測項目は、重錘に内蔵された起歪柱型ロードセルによる重錘衝撃力、非接触式レーザ変位計による载荷点変位とした。衝撃実験終了後には試験体側面のひび割れをトレースし、ひび割れ分布図を作成している。なお、変位測定位置は表-2に示している。

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力

図-3には、単一载荷のケースにおける重錘衝撃力波形を示す。なお、波形は重錘衝突時の時刻を0として整理している。図より、重錘衝撃力は衝突速度にかかわらず、衝突直後に発生する振幅が大きく周期の短い正弦半波状の第1波と、振幅が一定で波動継続時間が長い第2波により構成されていることが分かる。第1波により発生している重錘衝撃力の最大値に関して、重錘の衝突速度の増加に伴い増大していることが分かる。また、第2波の応答時間に関しても同様に、重錘の衝突速度の増加に伴い、波動継続時間が長くなることが分かる。

図-4には、繰り返し载荷実験を含めた衝撃実験時の最大重錘衝撃力に関して、衝突速度との関係を示す。図より、最大重錘衝撃力は重錘衝突速度とほぼ比例の関係にあり、高い相関があることが分かる。

3.2 衝撃応答変位

図-5には、単一载荷のケースにおける変位応答波形を示す。なお、時刻は重錘衝撃力波形同様に重錘衝突時の時刻を0としている。また、本実験においては、载荷点直下においても変位を計測していたが、重錘衝突により载荷点周辺に損傷が発生し、この損傷により载荷点の変位計測に問題が発生したため、本検討では载荷点変位は除外し、载荷点近傍の変位（D-1、D-2）によって検討を行うこととする。

図より、変位波形は重錘衝突速度にかかわらずほぼ同一の応答性状を示している。重錘衝突より若干遅れて応答が励起され、緩やかに最大応答となった後、残留変形成分を含む自由減衰振動状態に移行する。また、D-1、D-2とも

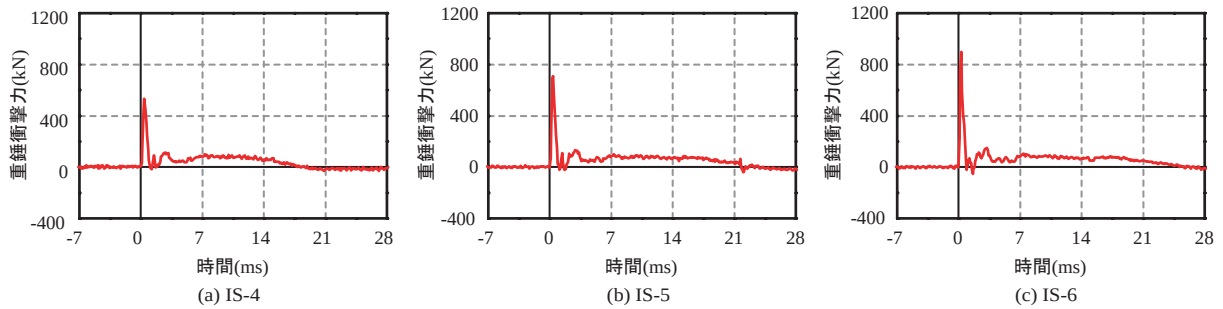


図-3 重錘衝撃力波形

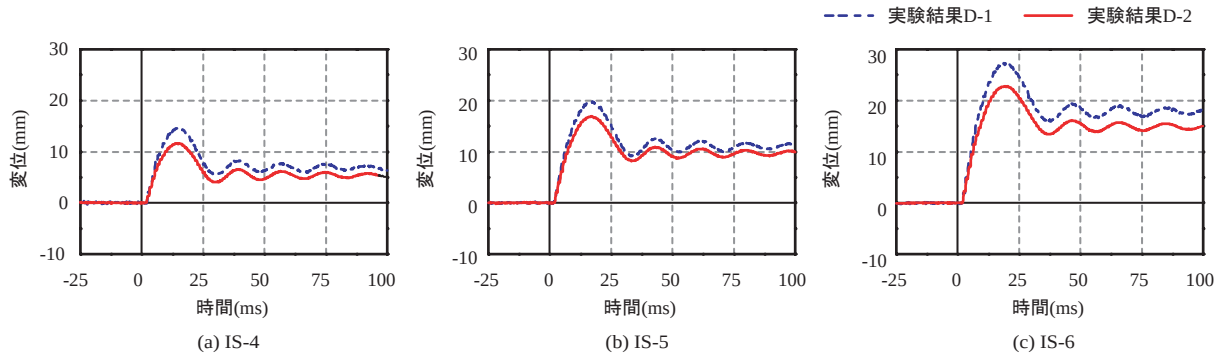


図-5 D-1・D-2 変位波形

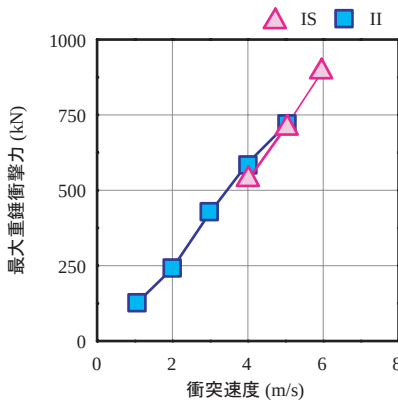


図-4 衝突速度-重錘衝撃力関係

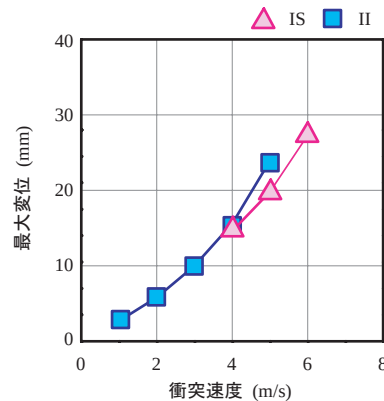


図-6 衝突速度-最大変位関係

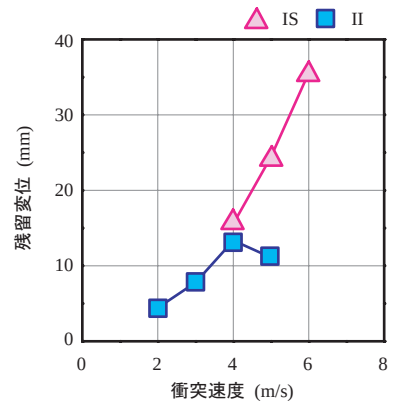


図-7 衝突速度-残留変位関係

に、若干の振幅の差を有するものの、ほぼ同一の応答性状を示しており、実験においてほぼ対称の応答をしたことが確認できる。

図-6には、繰り返し載荷実験を含めた衝撃実験時の最大応答変位に関して、衝突速度との関係を示す。図より、重錘衝撃力の場合と同様に最大変位に関して、重錘衝突速度とほぼ線形の関係にあり、高い相関があることが分かる。

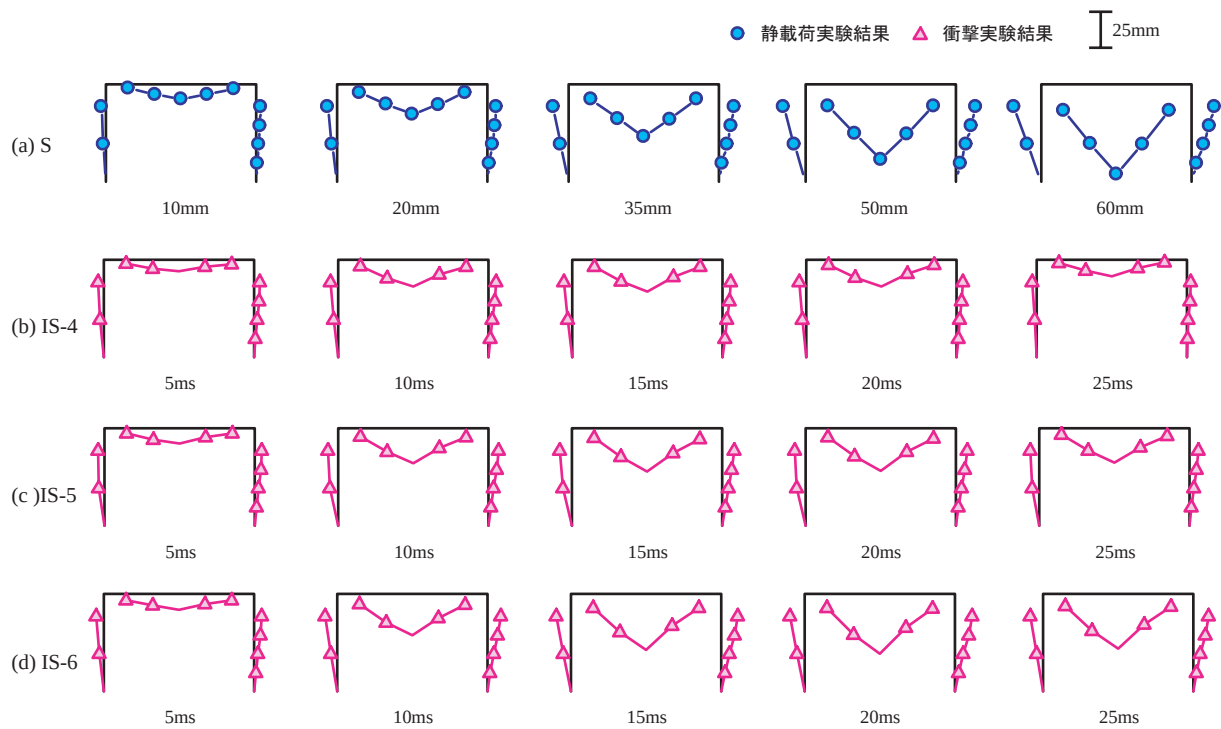
図-7には、同様に残留変位に関して、重錘衝突速度との関係を示す。図より、残留変位に関しても同様に高い相関性が見られる。しかしながら、衝突速度が増加するにつれ、残留変位の増加割合が増加する傾向が見られる。

これらの変位の傾向より、本実験の衝突速度の範囲内においては、RC ラーメン構造の構造的終局状態には至って

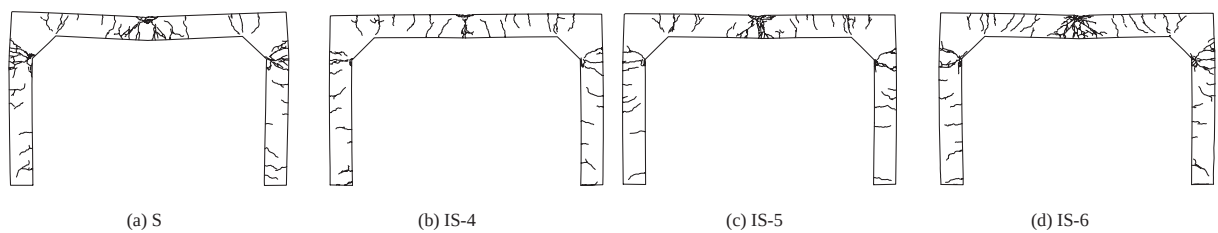
いないことが推察される。

3.3 変形性状

図-8には、変位分布性状を各時刻ごとに示している。なお、静的実験結果に関しては、載荷点直下の変位量で整理を、衝撃実験結果に関しては、重錘衝突からの経過時間により整理している。図より、衝撃実験結果においては重錘衝突速度の違いによる変形性状の差異は確認できず、変位量の違いこそあるものの、その変形性状は同一と言える。静的実験結果と衝撃実験結果を比較すると、変形性状に関してはほぼ同一であることが分かる。これより、RC ラーメン構造に関しては、構造が終局に至るまでは、衝撃応答性状は静的な変形性状とほぼ同一と考えられるものと推察される。



図－8 変形状



図－9 ひび割れ分布性状

3.4 ひび割れ分布性状

図－9 には、実験終了時のひび割れ分布性状を示している。図より、衝撃実験結果、静的実験結果ともに、頂版部では荷点近傍において正の曲げによる曲げひび割れが、隅角部近傍においては負の曲げによる曲げひび割れが確認できる。また、荷点近傍に見られるせん断によると思われる斜めひび割れに関しても、同様に確認できる。また、隅角部自体にはどちらも特に損傷は見られない。側壁部では、隅角部近傍では外側に、基部近傍では内側にそれぞれ曲げによるひび割れが双方共に確認できる。荷点および隅角部のハンチ下部に損傷が集中する傾向についても同様の傾向を示している。

これらのことより、破壊性状についても動的な破壊性状は静的な破壊性状とほぼ同一と考えられるものと推察される。よって、RC ラーメン構造については、耐衝撃性能に関して静的に置換する考え方によって比較的良好に照査できる可能性が示されたといえる。

4. まとめ

本研究は、落石防護覆道の性能照査法の確立に寄与することを目的とし、小型の RC ラーメン模型に対する重錘落下衝撃実験を行い、その衝撃挙動について検討を行ったものである。結果を以下にまとめると、

- (1) 静的実験結果と衝撃実験結果の変位性状に関して、ほぼ同様の性状を示すことが確認された。
- (2) 耐衝撃性能に関して静的に置換する考え方によって比較的良好に照査できる可能性が示された。

今後は、静的な耐荷性能と耐衝撃性能との関係を詳細に検討し、耐衝撃性能の照査手法に寄与できるよう研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 岡田 慎哉, 西 弘明, 三上 浩: ロックシェッドの終局時入力エネルギー量探索に関する数値解析的検討, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1273-1284, 2006. 3