

小型 RC 製アーチ梁模型に関する重錘落下時の衝撃挙動解析

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○川瀬 良司
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 今野 久志

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉

1. はじめに

本研究では、RC 製アーチ構造に関する耐衝撃挙動を把握することを目的として、重錘落下衝撃荷重載荷時の小型 RC 製アーチ梁模型（以後、アーチ梁）に関する三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。ここでは、荷重作用位置・方向、衝突速度および帯鉄筋の有無が耐衝撃挙動に与える影響について、各種応答波形（重錘衝撃力、アーチ基部断面の応答軸力、載荷点における載荷方向の応答変位）およびひび割れ分布性状に着目して検討を行った。なお、弾塑性衝撃応答解析には、陽解法に基づく非線形動的構造解析用汎用コード LS-DYNA を用いている。

2. 数値解析概要

2.1 解析ケース

表-1 には、本数値解析における解析ケース一覧を示している。載荷方向は、アーチ円中心に対して鉛直方向の場合と斜め 45 度方向の場合の 2 種類とした。表中、解析ケース名の第一項目は帯鉄筋の有無（N：無し，S：有り）を、第二項目はアーチの円中心に対する載荷方向（P：鉛直，I：斜め 45 度）を示している。

2.2 解析モデル

図-1 には、本数値解析で用いた鉛直載荷時におけるアーチ梁の要素分割状況と、斜め 45 度載荷時の重錘モデルを重ねて示している。また、鉄筋要素の配置状況も併せて示している。鉛直載荷の場合には対称性を考慮して 1/4 モデルを対象に解析を行った。斜め 45 度載荷の場合には、軸方向のみの対称性を考慮して 1/2 モデルを用いることとし、載荷点側を R 側、その反対側を L 側と定義している。重錘質量は 300 kg とした。粘性減衰定数はアーチ梁の最低次固有振動数に対して 0.5 % と設定した。

2.3 材料物性モデル

図-2(a) には、コンクリートの応力-ひずみ関係を示している。圧縮側に関しては、圧縮ひずみが 1,500 μ に達した時に降伏するものと仮定し（降伏応力を圧縮強度 $f'_c = 21$ MPa と設定）、引張側に関しては、圧縮強度の 1/10 に達した段階で引張応力を伝達しないものと仮定した。

図-2(b) には、軸方向鉄筋および帯鉄筋に関する応力-ひずみ関係を示している。図のように、降伏後の塑性硬

表-1 数値解析ケース一覧

解析 ケース名	帯鉄筋 の有無	載荷 位置	重錘衝突速度 V (m/s)
N-P	無	90°	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
N-I		45°	4, 6, 8
S-P	有	90°	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
S-I		45°	4, 6, 8

化係数 H' を弾性係数 E_s の 1 % とする等方弾塑性体モデルと仮定し、軸方向鉄筋、帯鉄筋の降伏応力をそれぞれ $\sigma_y = 345$ MPa, 295 MPa と仮定した。

3. 数値解析結果および考察

図-3 には、衝突速度が $V = 8$ m/s の場合における各種応答波形分布を示している。図-3(a) の重錘衝撃力波形に着目すると、解析ケースにかかわらず重錘衝突初期に最大値を示しており、その大きさは載荷方向の違いによって大差ない。図-3(b) の応答軸力波形に着目すると、重錘衝撃力と同様に重錘衝突初期に最大値を示している。帯鉄筋の有無による最大応答値について比較すると、鉛直載荷の場合には、帯鉄筋無 (N-P) の場合が有 (S-P) の場

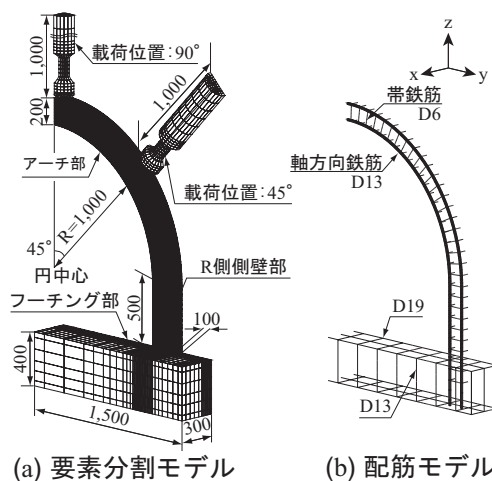


図-1 要素分割モデルおよび配筋モデル

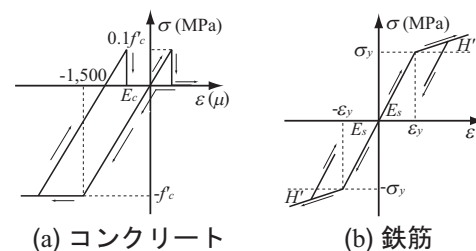
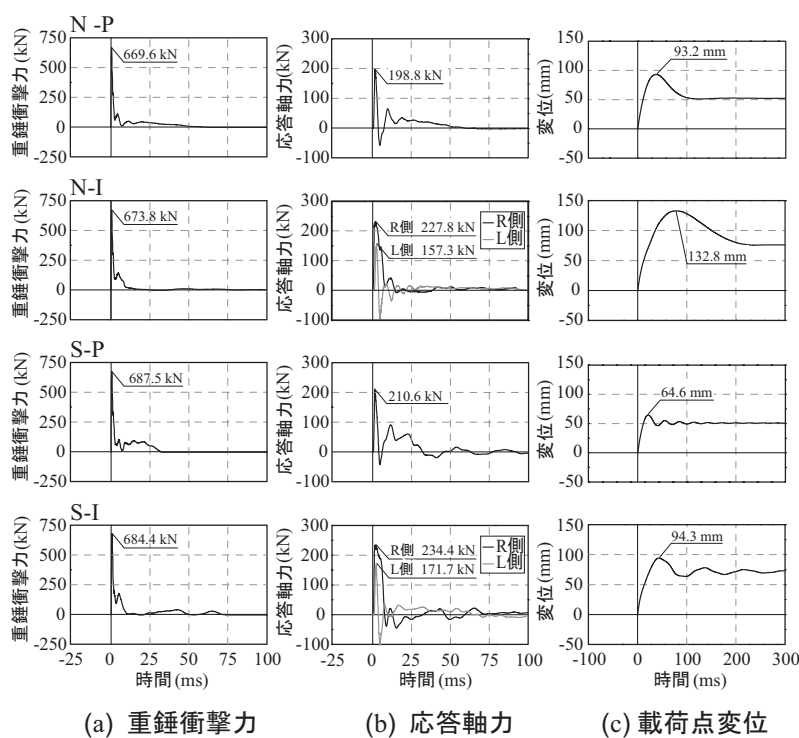


図-2 各材料の応力-ひずみ関係

キーワード：RC 製アーチ構造形式，耐衝撃挙動，帯鉄筋，三次元弾塑性有限要素解析

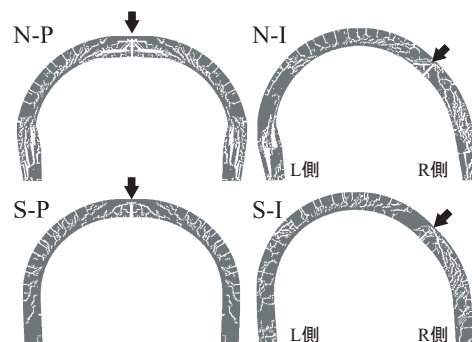
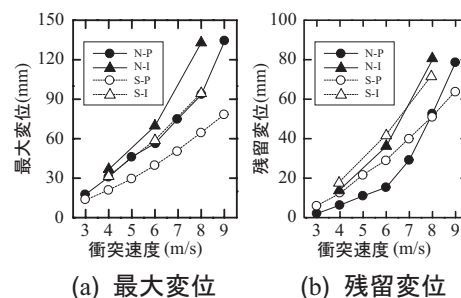
連絡先：〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1 構研エンジニアリング TEL 011-780-2811 FAX 011-785-1501

図-3 各種応答波形分布 ($V = 8 \text{ m/s}$)

合より若干小さな値を示している。また、45度載荷の場合においても同様に、L側とR側ともに帯鉄筋無(N-I)の場合が、小さな値を示している。これは、帯鉄筋無(N)の場合には、有(S)の場合に比して荷重点近傍の損傷が著しくなることより、衝撃エネルギーがその損傷部で大きく吸収されるためと推察される。図-3(c)より、荷重点変位波形を見ると、帯鉄筋無(N)の場合、除荷後振動状態に至らず過減衰的な性状を示しており、剛性が著しく低下している状態が推察される。一方、帯鉄筋有(S)の場合には、除荷後も振動状態を呈しており、帯鉄筋無(N)に比較して損傷度が小さいことが分かる。最大応答変位に着目すると、帯鉄筋有(S)の場合が無(N)の場合と比して30~40%程度低減していることが分かる。

図-4には、衝突速度 $V = 8 \text{ m/s}$ の荷重点最大変位時における第一主応力分布図を応力零を白色にして示している。この場合、弾性的に大きな応力が発生する可能性のある領域で白色を示す場合には、ひび割れの発生が示唆される。帯鉄筋の有無で比較すると、帯鉄筋無(N)の場合には、荷重点裏面剥離および側壁部の割裂ひび割れが顕在化しているのに対し、帯鉄筋有(S)の場合には帯鉄筋の効果により、これらの損傷が大きく抑制されていることが分かる。

図-5には、各解析ケースにおける荷重点の最大変位および残留変位-衝突速度関係を示している。図-5(a)より、最大変位は帯鉄筋の配筋の有無にかかわらず、衝突速度の増加に伴い2次曲線的に増加する傾向にあるこ

図-4 第一主応力分布 ($V = 8 \text{ m/s}$)図-5 最大変位および残留変位
-衝突速度関係

とが分かる。最大変位は帯鉄筋有(S)の場合よりも無(N)の場合に大きく示されている。

図-5(b)より、残留変位は荷重点にかかわらず、 $V = 8 \text{ m/s}$ までは帯鉄筋無(N)の場合が有(S)の場合よりも小さくなるが、 $V = 8 \text{ m/s}$ 以上では、逆の傾向を示している。これは、1) 衝突速度が小さい場合は、帯鉄筋無(N)では損傷が局所的であるのに対して、有(S)の場合は構造全体で抵抗するため損傷の範囲も大きくなり、前者に比して構造全体の復元力特性が小さくなること、2) 衝突速度が大きい場合は、帯鉄筋無(N)の場合において損傷が荷重点の裏面剥離のみならず側壁部の割裂ひび割れ等によって構造全体の剛性が著しく低下するのに対して、有(S)場合には前者のような著しい剛性低下は見られないこと、等によるものと推察される。

4. まとめ

重錘落下衝撃荷重載荷時には、アーチ梁に帯鉄筋を配筋することにより、

- (1) 荷重点部の裏面剥離および側壁部の割裂等を効率的に抑制可能であること、
- (2) 衝撃荷重の作用に対する断面剛性の低減が抑制されること、
- (3) 衝突速度の増加に伴う塑性化の進行が小さくなること、等が数値解析的に明らかになった。

これより、帯鉄筋の配筋は、アーチ構造の構造特性を発揮するためには無視できない構造要素であることが明らかとなった。