二層緩衝構造を併用した杭付 RC 落石防護擁壁に関する数値解析的検討

(株) 構研エンジニアリング	正会員	○保木	和弘	寒地土木研究所	正会員	今野	久志
(株) 構研エンジニアリング	正会員	牛渡	裕二	室蘭工業大学	フェロー	岸	徳光
(株) 構研エンジニアリング	正会員	川瀬	良司				

1. はじめに

著者らは,道路沿いに設置される道路防災施設の新た な工法として基礎杭を擁壁内まで立ち上げ,鉄筋コンク リート構造で巻き立てる杭付落石防護擁壁に,落石衝撃 力による壁体の損傷防止および基礎杭の規模の縮小化を 目的とした,二層緩衝構造を付設する工法を提案してい る.また,基礎工の突出部をH形鋼に置き換えて,壁厚 のスリム化を図る改良タイプの構造形式(以後,H形鋼 併用杭付擁壁)に,二層緩衝構造を付設する工法も提案 している.本研究では,改良型であるH形鋼併用杭付擁 壁の性能照査法の確立を目的に,三次元弾塑性有限要素 法に基づいた衝撃応答解析(以後,数値解析)を行った.

2. 実験および解析の概要

図-1には、実験に用いた H 形鋼併用杭付擁壁の形状 寸法および数値解析モデルを示している. (a) 図には、実 験供試体および実験フィールドの寸法を示している. 鋼 管杭の根入れ深さは、一般的な自立構造杭の根入れ長で ある $3/\beta = 8.7 \text{ m}$ を確保した. 鋼管杭に立て込む H 形鋼 は、鋼管に 0.85 m 根入れし、中詰めコンクリートで充填 し、固定した. RC 擁壁の高さは H = 2.0 m, 延長は L =4.0 m であり、RC 擁壁の鉄筋量は、落石対策便覧に基づ いて衝撃荷重を算定し、水平方向鉄筋を D22@250 mm, 鉛直方向鉄筋を D13@250 mm としている. 壁厚は、鉄筋 のかぶりおよび H 形鋼との間隔を考慮し 0.55 m として いる. 二層緩衝構造は、表層材を 15 cm 厚の RC 版、裏 層材を 50 cm 厚の発泡スチロール (EPS) 材としている.

表-1には、実験ケースの一覧を示している.実験は、 重錘衝突速度をV = 3.5, 5.0, 7.0 m/s に変化させた 3 ケー スについて実施している.表中のケース名は、重錘衝突 速度 (m/s) を V の後に付記することで表している.衝突 エネルギーは、重錘質量 5,000kg で衝突速度 V = 5.0 m/s を基本とし、基本値のそれぞれ 0.5, 2 倍程度となるように 衝突速度 V = 3.5, 7.0 m/s の場合を併せて実施している. 載荷方法は、擁壁本体の損傷が確認できないことより、 二層緩衝構造のみを新設した、繰り返し載荷法とした.



図-1 試験体の形状寸法および解析モデル

<u>ケース名</u> 重錘衝突速度 (m/s) 衝突エネルギー (kJ)							
V3.5 3.5 30.6	ケース名	重錘衝突速度 (m/s)	衝突エネルギー(kJ)				
V 5.5 5.5 50.0	V3.5	3.5	30.6				
V5.0 5.0 62.5	V5.0	5.0	62.5				
V7.0 7.0 122.5	V7.0	7.0	122.5				

表-1 実験ケース一覧

(b) 図に示される数値解析モデルでは,構造物の対称性 を考慮してその1/2をモデル化している.また,地盤の 解析領域については,擁壁延長方向に8.0m,擁壁の前後 方向には擁壁中心から片側10.0m両側で合計20.0mと した.基礎地盤の深さ方向の解析範囲は,杭先端から杭 全長以上の9.5mとした.

本数値解析のための擁壁および地盤は,基本的には8 節点の3次元固体要素を用いてモデル化しているが,擁 壁本体および表層材 RC版の鉄筋,二層緩衝構造固定用 ボルトは,梁要素でモデル化している.杭基礎に用いて いる鋼管杭はシェル要素でモデル化している.総要素数 および総節点数は,それぞれ77,937,71,043である.ま た,重錘-RC版, RC版-EPS材,EPS材-擁壁本体, 擁壁本体-基礎地盤,鋼管杭-基礎地盤,EPS-基礎地 盤,RC版-基礎地盤の間には,面と面の接触・剥離を伴 うすべりを考慮し,擁壁底面と基礎地盤間の摩擦抵抗は 無視している.地盤の境界条件は,底面および側面は完 全固定とし,周辺地盤に無反射境界を設定している.

衝撃荷重は、衝突位置に重錘を設置し、その全節点に

キーワード:杭付落石防護擁壁,鋼管杭,衝撃応答解析 連絡先:〒065-8510 札幌市東区北18条東17丁目1-1 (株)構研エンジニアリング TEL 011-780-2813 FAX 011-785-1501



図-2 解析で用いた材料構成則

設定の衝突速度を入力することにより,作用させること とした.なお,減衰については,材料の塑性化に伴うエ ネルギー吸収効果の他,質量に比例した減衰を考慮する こととした.本研究では系の最低次固有振動に対して *h* =5%の減衰定数を設定している.

なお,本数値解析には,非線形衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA(Ver.970)を用いている.

図-2には本数値解析に用いた各材料構成則を示してい る. (a) 図には、コンクリート要素に用いた応力-ひずみ 関係を示している. コンクリートの降伏は、Drucker-Prager の降伏条件に従うこととした. (b) 図には鋼材要素に用い た応力-ひずみ関係を示している. 降伏の判定には von Mises の降伏条件式を適用している. (c) 図には EPS 材 に用いた応力-ひずみ関係を示している. 本モデルは、 静的な材料試験結果を基にし、トリリニア型にモデル化 している. また、引張側はカットオフ値を零応力として 弾塑性状態を仮定している. (d) 図には上層地盤要素に 用いた応力-ひずみ関係を示している. モデルは孔内水 平載荷試験結果から得られた応力-ひずみ曲線を基にト リリニア型に仮定した. その他の下層地盤,中詰めコン クリート、鋼管内コンクリート、重錘は、弾性体と仮定 した.

3. 実験結果と数値解析結果の比較

図-3には、全てのケースにおける各種応答波形を示 している.波形は、実験結果および数値解析結果を各衝 突速度毎に比較して示している.図-3(a)には重錘衝撃 力波形、図-3(b)には RC 擁壁の載荷点変位波形を比較 して示している.各波形は重錘衝突時点を0msとして整 理している.



図-3 各種応答波形

図-3(a)より,重錘衝撃力波形は,実験結果と数値解 析結果ともに衝突初期に最大応答値を示し,衝突初期か ら5~10 ms 程度の間は高周波成分が卓越し,その後継続 時間が 60~100 ms 程度の台形分布状の波形となってい る.最大重錘衝撃力に着目すると,数値解析結果が実験 結果の 60~80%程度と小さく示されているが,発生時刻 はほぼ同程度である.

これらのことから,数値解析結果は,実験結果に比べ て最大重錘衝撃力が若干小さく評価されるものの,波形 性状,荷重継続時間および最大応答値発生時刻はある程 度再現されていることが明らかとなった.

図-3(b)より,RC 擁壁載荷点変位波形は,数値解析 結果と実験結果は正弦半波状の応答波形を示し,その後 若干の残留変位成分を含む減衰自由振動に移行する類似 の波形性状を示している.また,重錘衝突エネルギーの 増加と共に波動継続時間が長くなり,最大応答値も大き くなっている.最大変位に着目すると,数値解析結果は 実験結果よりも20%程度大きな値を示している.その発 生時刻も,数値解析結果が実験結果より遅いことが分か る.これは,上層地盤の物性値が若干小さく評価された ことによるものと推察される.

4. まとめ

本研究では,提案した H 形鋼併用杭付擁壁の性能照査 法の確立を目的に,三次元弾塑性有限要素法に基づいた 衝撃応答解析を行った.その結果,三次元弾塑性有限要 素法に基づいた数値解析手法を用いることで,重錘衝撃 力や RC 擁壁載荷点変位を概ね再現が可能であることが 明らかになった.