

五能線海岸波止護岸の健全度調査—その3：波止護岸の安定照査—

ジェイアール東日本コンサルタンツ
ジェイアール東日本コンサルタンツ
JR 東日本 秋田支社
JR 東日本 秋田土木技術センター

正会員 ○小林 敬一
正会員 羽矢 洋
正会員 宮腰 寛之
正会員 村田 祐亨

1. はじめに

五能線海岸波止護岸の健全度調査（その1）では護岸の越波対策の概要および今回実施した調査概要について述べ、（その2）では、振動試験と地盤調査の概要を報告した。（その3）では引き続き護岸の安定の照査結果について報告する。

2. 固有値解析による振動試験結果の同定と地盤物性の評価

表-1 固有値解析モデル作成時の地盤の初期条件

層番	層厚 (m)	土質区分	N 値	E_0 (kN/m ²)
1	3.70	砂質	3	7500
2	2.25	砂礫	35	87500
3	3.00	軟岩	50	125000

波止護岸の固有値解析モデルを作成し、振動試験結果をシミュレートすることで、護岸の部材剛性および護岸背面土（盛土）と基礎の支持地盤強度を推定した。なお、固有値解析の初期モデルの構築は、地盤調査結果、財産図等に基づき行った。モデルの初期地盤条件を表-1に、護岸の解析モデルを図-1に示す。

(1) 固有値解析モデルに設定する地盤ばねは地盤調査結果および基礎・抗土圧標準¹⁾に基づき決定した。なお、詳細は別セッションで報告する「橋梁下部構造物等の固有値解析における地盤ばねに関する考察」に詳しい。

(2) 護岸躯体の部材剛性は、護岸が玉砂利を含む無筋コンクリートの旧式構造物であることを考慮し、コンクリート強度 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ 相当（ヤング係数 $E_c=20.0\text{kN/mm}^2$ ）とした。

(3) 固有値解析結果

a) No. 1 および No. 2 ブロックの結果

（その2）で述べたとおりこの両ブロックで実測できた振動モードは天端、中間、下端の位相が同位相となる1次のモードとなっている。各々のブロックの実測振動数および実測振動モードをシミュレートした結果を図-2に示す。また、シミュレートする上で部材剛性および地盤N値に乘じたシミュレート倍率を表-2に示す。

b) No. 3 および No. 4 ブロックの結果

この両ブロックで実測できた振動モードは、天端に対し中間、下端の位相が逆位相となる2次のモードであった。こうした状況を踏まえ、各々のブロックの実測振動数および実測振動モードをシミュレートした結果を図-3に示す。また、シミュレートする上で部材剛性および地盤N値に乘じたシミュレート倍率を表-3に示す。

(4) 固有値解析によって決定されたシミュレート倍率をみると、側方ばね、基礎底面ばね各々に考慮した倍率は3倍以上と大きい値となった。以上の検討結果を受け、護岸を支持する地盤の性状について、以下のとおり考えた。

- ・護岸は背面盛土、基礎底面の地盤の調査で得られたN値と同等以上の支持力を担保し得ていると判断してよい
- ・高波等を原因とする基礎底面の洗掘とそれに伴う支持地盤の緩みは生じていないと判定してよい。したがって、後述する護岸の安定計算においては、地盤調査で得られたN値を用いることは危険ではなく、妥当と考えてよい。
- ・なお、No. 3 ブロックについては躯体剛性のシミュレート倍率が小さい結果となったが、試験中に、このブロックの躯体中間部に全幅に亘り目地浸食が生じていることが判明した（図-4）。解析ではこれを考慮し、ここの部材剛性を割り落としたものであるが、目地浸食自体は旧護岸部（浸食防止用に前面（海側）に存置したもの）に生じたものであり、

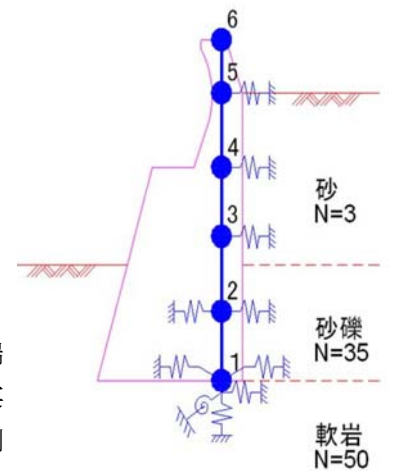


図-1 固有振動数モデル概要

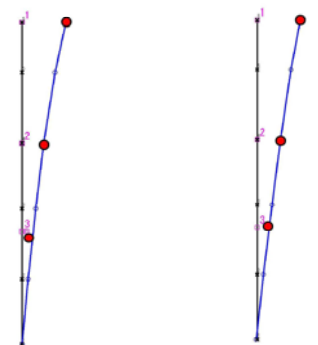


図-2 シミュレート結果

表-2 シミュレート倍率一覧

番号	振動数 (Hz)	シミュレート倍率			
		基礎底面	護岸側面		躯体剛性
			海側のGL以深	海側のGL上方	
No. 1	26.98	4.0	4.0	4.0	1.00
No. 2	23.44	3.0	3.0	3.0	1.00

キーワード：消波ブロック、波止護岸、起振機振動試験、衝撃振動試験、安定計算、安定性評価

連絡先〒171-0021 東京都豊島区西池袋3-30-3 西池本田ビル ジェイアール東日本コンサルタンツメンテナンス事業部 TEL. 03-6846-1194

本体（背面側に構築されている新設護岸）に生じているものではない。

3. 護岸の安定の照査

波止護岸の安定性を確認するため、直接基礎擁壁として安定計算を行った。なお、安定の検討は基礎・抗土圧標準に定める使用限界状態および耐震標準²⁾に定めるL1地震に対し行うこととし、荷重の組合せ、安全係数、荷重係数については基礎標準、耐震標準に準じた。また、安定解析に用いた土質定数は標準貫入試験および不攪乱、攪乱試料を用いて行った室内三試験の結果に基づき、基礎・抗土圧標準に準じ定めた。安定計算に用いる諸数値を表-4に示す。ちなみに、盛土側で採取した試料をもとに実施した室内三軸試験では、盛土材料の内部摩擦角は 32.4° （CD：圧密排水条件による）として得られており、この結果より上記表に定めた盛土の内部摩擦角 29° は安全側に妥当と考えられる。

構造物条件、各種の条件を以下に示す。

- (1) 構造形式：無筋コンクリート重力式擁壁
- (2) 列車荷重：E A-15
- (3) 列車速度：V=95km/h
- (4) 形状寸法：擁壁高さ：約7.4m（底面より）
- (5) 基礎形式：直接基礎

安定の照査の結果を表-5に示す。これにより、護岸は耐震性能Iを担保していることがわかる。なお、現行の設計標準では抗土圧構造物の転倒の照査は行われない。その理由は、橋脚のように地盤面から突出した形の構造物では応答速度が限界転倒速度を超えることで転倒に至る可能性もあるのに対し、抗土圧構造物の場合には応答速度が限界転倒速度を超える事はなく、さらに、応答塑性率が塑性率の制限値を超えない状況においては土圧の作用により転倒に至るものではないことが確認できていることによる。しかし、本検討では参考として許容応力度法による過去の基礎標準³⁾に準じ、フーチング底面に発生する回転モーメントと鉛直荷重の関係から算定される偏心量に基づく安定の照査も行ったところ、この旧標準に定める転倒の制限値についても大きく下回る結果となり、安定性を担保していることが確認できた。

以上を総合的に判断して、今回対象とした波止護岸は、現状において安定と考えてよいと判断できる。

4. まとめ

この海岸波止護岸では、高潮による消波ブロックの沈下・流失が繰り返されてきており、そのため護岸基礎の洗掘に伴う支持力不足が懸念されていた。しかし、振動試験と試験結果に基づく解析的検討により洗掘の影響は受けていないこと、さらにL1地震に対する安定性を担保していることが確認できた。

最後に、護岸の起振機試験で鉄道総合技術研究所基礎・土構造研究室の篠田主任研究員、大村研究員には多大なるご指導を頂戴いたしました。紙面を借りて厚くお礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物・抗土圧構造物）平成9年3月
- 2) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）平成11年10月
- 3) 日本国有鉄道：建造物設計標準（基礎構造物・抗土圧構造物）昭和61年3月

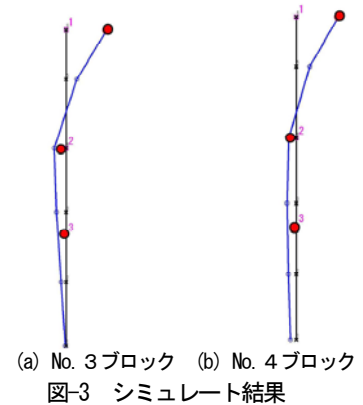


表-3 シミュレート倍率一覧

番号	振動数 (Hz)	基礎底面	護岸側面		躯体剛性
			海側のGL以深	海側のGL上方	
No. 3	38.08	3.0	3.0	3.0	1.00 0.24※
No. 4	58.22	3.0	3.0	3.0	1.00

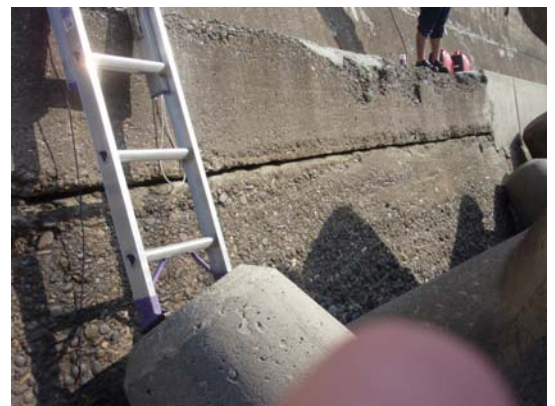


図-4 No. 3 ブロックに発生した打継目の浸食

表-4 護岸の安定計算に用いる諸数値一覧

層番	層厚 (m)	土質区分	N 値	γ (kN/m ³)	ϕ (度)	E_0 (kN/m ²)	α
1	3.70	砂質	3	17	29	7500	2
2	2.25	砂礫	35	19	38	87500	2
3	3.00	軟岩	50	20	42	125000	2

表-5 安定照査の結果一覧

照査項目	算定式	使用限界状態		地震時使用限界	
		計算値	判定	計算値	判定
転倒	$e_1 \leq B/6$	$e_1=0.48$ $B/6=0.58$	OK	-	-
	$e_1 \leq B/3$	-	-	$e_1=0.79$ $B/3=1.17$	OK
鉛直支持	$\gamma_1 \times p_d / q_d$	0.09	OK	0.21	OK
水平支持	$\gamma_1 \times H_d / R_{hd}$	0.96	OK	0.58	OK