

地盤パラメタの設定と工学的基盤深さによる地震応答解析結果への影響について

北海道開発局 小樽港湾事務所 正会員○本山 賢司
 北日本港湾コンサルタント 正会員 奈良 俊介
 北日本港湾コンサルタント 正会員 加地 隆之

1. はじめに

平成19年4月から「港湾の施設の技術上の基準」(以下、技術基準)が性能規定化され、耐震強化岸壁の設計においては、地震応答解析を実施し、岸壁の残留変形量および鋼材応力等を許容値以内に収められる断面を検討することとなった。地震応答解析に用いる地盤パラメタには、液状化特性を規定するパラメタと動的変形特性を規定するパラメタのせん断弾性係数(G_{ma})、体積弾性係数(K_{ma})、内部摩擦角(ϕ_f)、履歴減衰の上限値(h_{max})があり、そのうち、せん断弾性係数は設定方法の違いにより値が大きく異なり、解析への影響が大きいと予想される。

そこで、本報告では、石狩湾新港の耐震強化岸壁において実施した矢板式係船岸(控え組杭)のFLIPによる耐震性能照査を事例として、せん断弾性係数の設定および工学的基盤深さの違いに着目し、設定方法の違いが地震応答解析結果に与える影響について報告するものである。

2. 検討条件

(1) せん断弾性係数の設定方法

本港でのせん断弾性係数算定結果を表-1に示す。せん断弾性係数の設定は、通常、現位置試験のPS検層によって得られるせん断波速度 V_s を用いて設定されるが、PS検層が実施されていない場合には、簡易的に N 値または粘着力 C を用いて設定される。ここでは、 V_s から推定する場合と、 N 値または粘着力 C 等から推定する場合の設定方法の違いが地震応答解析に与える影響について検討を行う。以下にせん断弾性係数の設定方法を示す。

V_s が得られている場合(V_s モデルと称する)

$$\text{砂質土・粘性土: } G_{ma} = \gamma \cdot V_s^2 / g \quad \text{式①}$$

V_s が得られていない場合(N 値モデルと称する)

$$\text{砂質土: } G_{ma} = 14100 N^{0.68} \quad \text{式②}$$

$$\text{粘性土: } G_{ma} = 340 C^* \quad *C = \max\{q_u/2, 0.375 \sigma_v'\} \quad \text{式③}$$

以上から得られたせん断弾性係数 G_{ma} は、体積弾性係数 K_{ma} の算定において次式で用いられている。

$$K_{ma} = (2/3) \{ (1 + \nu) / (1 - 2\nu) \} G_{ma} \quad (\text{ポアソン比は } 0.33) \quad \text{式④}$$

また、岸壁背後のAs1層は液状化層であり、液状化特性を規定するパラメタは、振動三軸試験結果の液状化抵抗曲線と合致するように求めた。

(2) 工学的基盤の深度

工学的基盤は一般的に、 $V_s \geq 300 \text{ m/s}$ または $N \geq 50$ の土層とされており、石狩湾新港の基礎地盤においては、約-38m~-46mに工学的基盤と見なせる洪積砂層Ds2層があり、洪積砂層・洪積粘性土層を挟み、約-61m以深に工学的基盤となる洪積砂層Ds4層が存在する。(図-1 CASE01 解析モデル図参照) このことから工学的基盤の深度の違いが地震応答解析に与える影響について検討を行う。

表-1 せん断弾性係数の算定結果

土層	層上面 m	N値	せん断波 速度 V_s m/s	せん断弾性係数 G_{ma}		
				V_s モデル① kN/m ²	N値モデル② kN/m ²	①/②
As1	+2.80	12	185.0	195,821	115,927	1.69
As1	+1.30	16	185.0	71,504	94,503	0.76
Ac1	-18.30	4	180.0	55,543	30,817	1.80
Ac2	-23.80	12	210.0	77,850	35,714	2.18
Dc1	-29.20	13	225.0	89,369	42,462	2.10
Ds2	-38.30	44	345.0	137,852	112,136	1.23
Dc2	-46.40	20	270.0	132,410	57,919	2.29
Ds3	-48.20	37	280.0	83,648	88,786	0.94
Dc3	-51.80	15	250.0	110,969	65,008	1.71
Dc4	-55.20	29	265.0	129,701	67,335	1.93
Dc5	-56.60	13	240.0	108,147	70,575	1.53
Ds4	-61.30	50	330.0	—	—	—

キーワード：地盤パラメタ、地震応答解析、せん断弾性係数、工学的基盤、FLIP、耐震強化岸壁

連絡先：〒047-0008 小樽市築港2-2 小樽港湾事務所 TEL0134-22-6131 FAX0134-25-1947

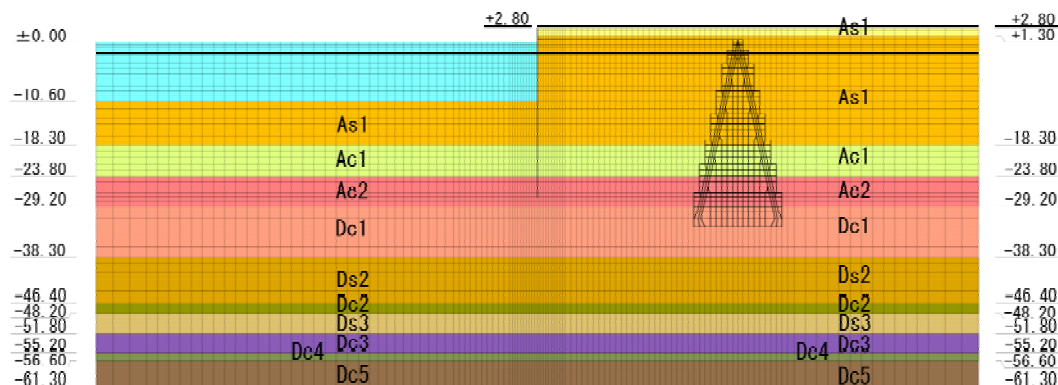


図-1 CASE01 解析モデル図

3. 解析結果に対する影響

検討は、せん断弾性係数の設定で Vs モデルと N 値モデル、工学的基盤の深度で Ds2 層と Ds4 層の 4 ケースを実施した。図-1 に地震応答解析モデル図を示す。Vs モデルと N 値モデルのせん断弾性係数の差は、砂質土層より粘性土層の方が大きく、最大で約 2 倍 Vs モデルの方が大きい。これらの影響を比較するために、岸壁背後における地表面最大加速度、

表-2 地震応答解析結果

検討ケース	地盤物性値の設定	工学的基盤層	基盤最大加速度 (Gal)	地表面最大加速度 (Gal)	岸壁頭部残留変形量 (cm)
CASE01	Vs	Ds4層	211.93	411.9	67
CASE02	Vs	Ds2層	222.11	396.3	61
CASE03	N値	Ds4層	204.54	609.1	162

岸壁頭部の残留変形量の結果を表-2 に整理した。入力地震動は M6.5 の直下型地震であり、表中の基盤最大加速度は、地表面加速度時刻歴を線形計算により基盤へ引き戻したものである。

入力地震動の基盤最大加速度の差は僅かであり、基盤が浅いケース (CASE02,04) が若干大きい、地表面加速度の最大値は、基盤が深くなる方 (CASE01,03) が大きくなっている。Vs モデル (CASE01,02) と N 値モデル (CASE03,04) の残留変形量の差は約 100cm であり、この値は耐震強化岸壁の残留変形量限界値に相当する大きな差となっている。これは、N 値モデルでは、地盤剛性が過小評価されたことにより鋼材が地盤から受ける力が増大し、鋼材応力が塑性域を超えており、このことが変形量が大きくなる要因のひとつと考えられる。また、工学的基盤深さによる変形量への影響については、Ds2 層と Ds4 層に挟まれる層の地盤剛性が、Vs モデルでは Ds2 層とほぼ同程度に評価されているため、CASE01, CASE 02 で顕著な差が見られない。以上により石狩湾新港では、地盤剛性を Vs で評価した方が残留変形量が小さく、Vs モデルでは、工学的基盤の深さによる影響は小さい。

4. おわりに

- ① せん断弾性係数の設定方法は、PS 検層のせん断波速度より求めることが望ましいが、N 値等による推定を行う場合、地盤剛性を過小評価し変形量・鋼材応力が大きくなる可能性があることを十分考慮し、施設の規模、重要度、復旧の難易度などを考慮のうえ、検討する必要がある。
- ② 工学的基盤の深度は、中間支持層が存在する場合、それに挟まれる土層の剛性が変形量等に影響する。石狩湾新港の場合、その層の剛性が中間支持層と同程度であり、その影響は僅かであるが、場合によっては（剛性の小さい層を挟むような場合）その値は無視できない可能性がある。よって、地表面加速度や残留変形量に影響するため、適切な地盤調査や物理探査を行い評価する必要がある。

今後の係留施設の設計は、従来の係船岸の設計に比べて、地震動に関して高度な解析が求められている。そして、解析の質を高める方法として、地層構造を的確に把握することが最重要であると考え。本報文の結果は石狩湾新港の事例であるが、他港における今後の耐震性能照査の一助となることを期待するものである。

【参考文献:液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法 港湾技研資料 No.869 1997 年 運輸省港湾技術研究所】