

土地改良ボックスカルバートの耐震設計について

平成 16 年 8 月 25 日
(有) エス・アイ・ピー

農林水産省より耐震設計基準「土地改良施設 耐震設計の手引き (H16/3)」(以下：土地改良耐震基準) が発刊されました。それに伴い弊社で内容を検証しました結果、従来「ボックスカルバート」では地震時の影響は考慮しない(農道 p641)としておりましたが、今回の基準書では重要度区分(A種/B種)においては耐震設計を行うとしております。ついては、他基準との相違点を含め土地改良耐震基準で特記すべき項目について以下にとりまとめました。

1. 耐震設計の範囲

耐震設計を行う設計範囲は、耐震構造物の重要度区分により以下表の如くなります。

準拠指針における設計地震動の区分

適用基準	重要度	レベル 1 地震時	レベル 2 地震時
土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」「農道」	B種	○ (健全性を損なわない耐震性能)	----
	下記注) 参照	・応答変位法および震度法 (固有周期を考慮しない) ・許容応力度法	----
耐震設計は「土地改良施設 の利用の手引きに準拠」	A種	○ (健全性を損なわない耐震性能)	○ (致命的な損傷を防止する耐震性能)
	下記注) 参照	・応答変位法および震度法 (固有周期を考慮しない) ・許容応力度法	・応答変位法および震度法 (固有周期を考慮しない) ・限界状態設計法
以下参考資料			
道路土工 カルバート工指針		----	----
駐車場設計・施工指針 同解説		○	----
共同溝設計指針		----	----
下水道施設の耐震対策指針と解説		○	○

注) B種：被災による影響が大きい施設。

○：指定により設計可能

A種：①主要道路や鉄道、河川、住宅・・・ライフラインへの影響が大きい施設。

----：設計対象外

②地域防災計画によって・・・避難、救援活動への影響が極めて大きい施設。

③地域の経済活動・や生活機能への影響が極めて大きい施設。

2. 地震時動水圧の考慮について

土地改良耐震基準では、耐震設計においては地震時動水圧を考慮するものとしています。

他基準(=駐車場および下水基準を指す)では具体的「地震時動水圧」の規定はされておりませんが、弊社システムでは、荷重組合せケースで全基準書で選択を可能としています。

① 自由水面がない場合(満水時)

壁体単位面積あたりの地震時動水圧は式(1.1)で求める。

$$p = k_h \cdot \gamma_w \cdot \frac{B}{2} \quad (1.1)$$

ここで、 p ：地震時動水圧 (kN/m²)

k_h ：設計水平震度

γ_w ：水の単位体積重量 (kN/m³)

B ：ボックスカルバートの内空幅 (m)

- ② 自由水面を持つ場合(Westergaard 法)
自由水面がある（満水状態でない）場合の地震時動水圧は式 (1.2) で求める。

$$p(z) = \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{H} \cdot z \quad (1.2)$$

ここで、 $p(z)$ ：水深 $z(\text{m})$ における地震時動水圧 (kN/m^2)

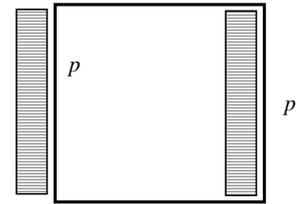
H ：水深(m)

水深 $z(\text{m})$ までの動水圧の合力は式 (1.2) を積分して、式 (1.3) で求められる。

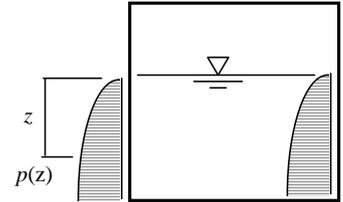
$$\int_0^z p(z) \cdot dz = \frac{7}{12} k_h \cdot \gamma_w \cdot H^{1/2} \cdot z^{3/2} \quad (1.3)$$

そして、 $z=H$ として式 (1.4) を得る。

$$p_{ew} = \frac{7}{12} k_h \cdot \gamma_w \cdot H^2 \quad (1.4)$$



(a) 自由水面がない場合



(b) 自由水面がある場合

図 2-12 地震時動水圧

3. 耐震設計上の地盤種別の判定について

土地改良耐震基準では、地盤の特性値は式 (1.5) および表 2-8 により求めるとしてあります。

この式事態は他基準（＝駐車場および下水基準を指す）と同等ですが、 V_{si} （平均せん断弾性波速度）の算出が異なっております。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad (1.5)$$

- ここで、
 T_G ： 地盤の特性値(s)
 H_i ： i 番目の層の層厚(m)
 V_{si} ： i 番目の層の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)
 N_i ： i 番目の層の平均N値

表 2-8 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	判定式
I 種	$T_G < 0.2$
II 種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
III 種	$0.6 \leq T_G$

また、平均せん断弾性波速度（土地改良事業計画設計基準の場合）は以下の表より求められます。

表 2-9 表層地盤のせん断弾性波速度

堆積時代別土質	せん断ひずみ			
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-6}	
洪積層	粘性土	$V_{si} = 129N^{0.183}$	$V_{si} = 156N^{0.183}$	$V_{si} = 172N^{0.183}$
	砂質土	$V_{si} = 123N^{0.125}$	$V_{si} = 200N^{0.125}$	$V_{si} = 205N^{0.125}$
沖積層	粘性土	$V_{si} = 122N^{0.0777}$	$V_{si} = 142N^{0.0777}$	$V_{si} = 143N^{0.0777}$
	砂質土	$V_{si} = 61.8N^{0.211}$	$V_{si} = 90N^{0.211}$	$V_{si} = 103N^{0.211}$

4. 応答変位の計算について

土地改良耐震基準では、応答変位法による地表面からの深さ z における地盤の水平方向変位振幅は土地改良では式 (1.6) および (1.7)、他基準では式 (1.8) より求めます。

他基準と異なる点は、土地改良耐震基準では「 T_G 」(特性値) を使用していますが、他基準では「 T_S 」(固有周期 $=1.25 T_G$) を使用している点にあります。

よって土地改良耐震基準で S_v (設計応答速度) を求める図表は、表層地盤の特性値「 T_G 」から求める事になります。(注-図表 p 255 では「表層地盤の固有周期 (T_G)」となっていますが、「表層地盤の特性値 (T_G)」が正です。)

① 土地改良事業計画設計基準の場合

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{h1} \cdot \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (\text{レベル1 地震動}) \quad (1.6)$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (\text{レベル2 地震動}) \quad (1.7)$$

② 駐車場・下水道の場合

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (1.8)$$

ここに、 $U_h(z)$: 地表面からの深さ $z(\text{m})$ における水平方向の変位振幅(m)

S_v : 設計応答速度(m/s)

土地改良耐震基準ではレベル1地震動では基準書の p 255 図 5.6.7、レベル2地震動では図 5.6.8 により求める。

T_s : 表層地盤の固有周期 ($=1.25 T_G$)(s)

T_G : 表層地盤の特性値 式 (1.5) (s)

H : 表層地盤の厚さ(m)

K'_{h1} : レベル1地震動の基盤面における設計水平震度

5. 地震時周面せん断力について

土地改良耐震基準では、周面せん断力は下記式より求めます。応答変位の式同様、他基準と異なる点では式中で土地改良は特性値「 T_G 」を使用していますが、他基準では「 T_S 」(固有周期) となります。

① 土地改良事業計画設計基準の場合

$$\tau_U = \frac{G_D}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \sin \frac{\pi \cdot z_U}{2H} \quad (1.9)$$

$$\tau_B = \frac{G_D}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \sin \frac{\pi \cdot z_B}{2H} \quad (1.10)$$

$$\tau_s = \frac{\tau_U + \tau_B}{2} \quad (1.11)$$

② 駐車場・下水道の場合

$$\tau_x = \tau_y = \frac{G_D}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin \frac{\pi \cdot z}{2H} \quad (1.12)$$

ここで、 τ_x, τ_y : 地震時周面せん断力 (kN/m²)
 周面せん断力は地盤のせん断強度を上限値とする。

$$\text{地盤のせん断強度 } \pi_{\max} = c + \sigma_n \cdot \tan \phi$$

- τ_U : 頂版に作用する地震時周面せん断力 (kN/m²)
- τ_B : 底版に作用する地震時周面せん断力 (kN/m²)
- τ_s : 側壁に作用する地震時周面せん断力 (kN/m²)
- σ_n : 有効上載圧 (kN/m²)
- G_D : 地盤の動的せん断弾性係数 (kN/m²)

$$G_D = \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_{DS}^2 \quad (\text{土地改良事業計画設計基準}) \quad (1.13)$$

$$G_D = \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_{SD}^2 \quad (\text{駐車場・下水道}) \quad (1.14)$$

- γ_t : 地盤の単位体積重量(kN/m³)
- V_{DS}, V_{SD} : 地盤のせん断弾性波速度(土地改良では) (m/s)

$$V_{SDi} = c_v \cdot V_{Si}, \quad V_{DSi} = c_v \cdot V_{Si} \quad (1.15)$$

$$c_v = \begin{cases} 0.8 & (V_{Si} < 300\text{m/s}) \\ 1.0 & (V_{Si} \geq 300\text{m/s}) \end{cases}$$

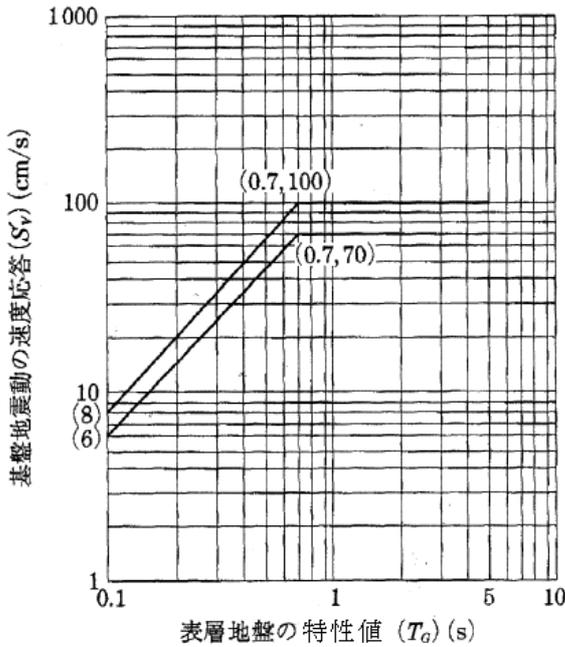


図-5.6.8 設計用速度応答スペクトル (レベル2地震動)

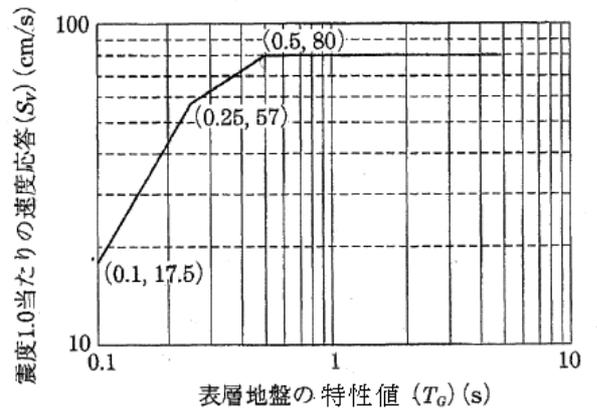
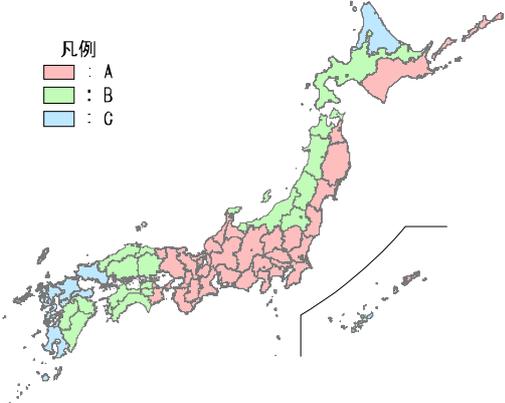


図-5.6.7 設計用速度応答スペクトル (レベル1地震動)

7. 設計水平震度

設計水平震度の算出を他基準と比較まとめると以下のようになります。

	駐車場設計・施工指針	下水道施設の耐震対策指針と解説	土地改良施設 耐震設計の手引き										
設計水平震度 (レベル1)	$k_{hf} = C_z \cdot C_G \cdot C_U \cdot k_{h0}$	地上部 $k_{hf} = C_z \cdot C_G \cdot C_I \cdot k_{h0}$ 地下部 $k_{hb} = k_{hf} \cdot (1 - 0.015z)$ ただし、 $0.5 \leq (1 - 0.015z)$	地表面 $k_{h1} = C_z \cdot k_{h10}$ 基盤面 $k'_{h1} = C_z \cdot k'_{h10}$ 対象深さの設計水平震度は地表面の震度と基盤面の震度を直線補間する。										
設計水平震度 (レベル2)	—	地上部 第I種地盤 $k_{hf2}=0.8$ 第II・III種地盤 $k_{hf2}=0.6$ 地下部 $k_{hb-2} = k_{hf-2} \cdot (1 - 0.015z)$ ただし、 $0.5 \leq (1 - 0.015z)$	地表面 地盤種別 I種: $k_{h2}=0.6\sim0.7$ 地盤種別 II種: $k_{h2}=0.7\sim0.8$ 地盤種別 III種: $k_{h2}=0.4\sim0.6$ 基盤面 $k'_{h2}=0.4\sim0.5$										
地域別補正 係数 C_z	地域区分 A $C_z=1.0$ 地域区分 B $C_z=0.85$ 地域区分 C $C_z=0.7$	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ : A ■ : B ■ : C 											
重要度別補正 係数 C_s, C_I	—	$C_I=1.1$	—										
地盤別補正 係数 C_G		I種地盤 $C_G=0.8$ II種地盤 $C_G=1.0$ III種地盤 $C_G=1.2$	—										
深度別補正 係数 C_U	$C_U = 1.0 - 0.015z$ ただし、 $0.5 \leq (1 - 0.015z)$	—	—										
標準設計水 平震度	$k_{h0}=0.2$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>レベル1</th> <th>k_{h10}</th> <th>K_{h10}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I種地盤</td> <td>0.16</td> <td rowspan="3">0.15</td> </tr> <tr> <td>II種地盤</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td>III種地盤</td> <td>0.24</td> </tr> </tbody> </table>	レベル1	k_{h10}	K_{h10}	I種地盤	0.16	0.15	II種地盤	0.20	III種地盤	0.24
レベル1	k_{h10}	K_{h10}											
I種地盤	0.16	0.15											
II種地盤	0.20												
III種地盤	0.24												