



建設ICTマスター養成講座
基礎養成編 選択分野別ソフトウェア実習



下水道耐震

2020年11月6日

株式会社 フォーラムエイト



スケジュール

13:30~14:50

- ・CIMの導入
- ・ボックスカルバートの耐震設計の概要説明
- ・「BOXカルバートの設計・3D配筋(下水道耐震)」の概要説明
- ・「BOXカルバートの設計・3D配筋(下水道耐震)」の操作実習

14:50~15:00

休憩

15:00~16:20

- ・「マンホールの設計・3D配筋」の概要説明
- ・「マンホールの設計・3D配筋」の操作実習

16:20~16:30

- ・質疑応答

I CIMの導入

CIM基準要領

○ CIM導入ガイドライン(案)(R2.3)

- ・第1編 共通編
- ・第2編 土工編
- ・第3編 河川編
- ・第4編 ダム編
- ・第5編 橋梁編
- ・第6編 トンネル編
- ・第7編 機械設備編
- ・第8編 下水道編 (R1.5)
- ・第9編 地すべり編 (R1.5)
- ・第10編 砂防編
- ・第11編 港湾編

CIMの導入

CIMの活用事例

BIM/CIM事例集Ver.1

<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimsummary.html>



CIMの導入

BIM/CIMの概念

BIM/CIM

(Building/Construction Information Modeling, Management)とは、

3次元モデル
+
属性情報
+
(参照資料)

- (1) BIM/CIM モデル を構築
(2) モデルに内包される情報を管理・活用

3次元モデル	コンピュータ上に作成した3次元の形状情報
属性情報	構造物及び構造物を構成する部材等の名称、形状、寸法、物性及び物性値(強度等)、数量、そのほか付与が可能な情報
参照資料	形状情報や属性情報を補足する資料

CIMの導入

BIM/CIMモデルの分類

地形モデル

- ・・・ 数値地図(国土基本情報)や実際の測量成果等を基に、数値標高モデルとして、TIN、テクスチャ画像等を用いて表現される。

地質・土質モデル

- ・・・ ボーリング柱状図、表層地質図、地質断面図等の地質・土質調査の成果またはその成果を基に作成した地層の境界面のデータ等を 3 次元 空間に配置したモデル。

線形モデル

- ・・・道路中心線や構造物中心線を表現する 3 次元モデル。

土工形状モデル

- ・・・盛土、切土等を表現したもので、TIN サーフェスモデル等で作成する

構造物モデル

- ・・・ 構造物、仮設構造物等を 3 次元 CAD 等で作成したモデル。作成した構造物モデルには一般的に属性を付加する。

統合モデル

- ・・・地形モデル、地質・土質モデル、線形モデル、土工形状モデル、構造物モデル等のそれぞれの BIM/CIM モデルを組み合わせ、作成用途に応じて BIM/CIM モデル全体を把握できるようにしたモデル

ボックスカルバートの耐震設計概要 II

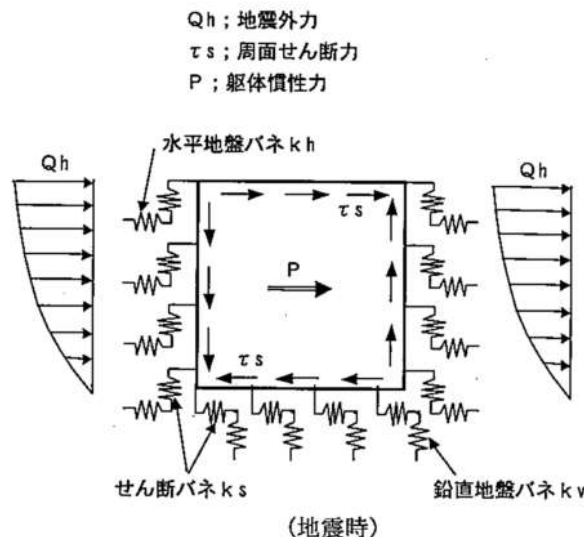
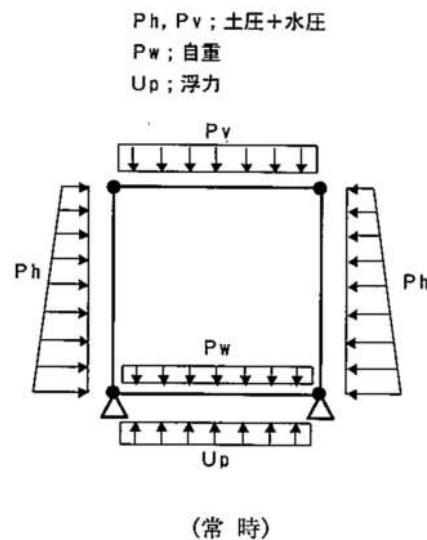
検討内容

- 断面方向検討
- 応答変位法による杭基礎
- 縦断方向検討

断面方向の検討

荷重

死荷重	自重、路面荷重、鉛直・水平土圧、水圧、揚圧力、任意荷重
活荷重	T荷重(鉛直)、水平荷重、任意荷重
地震荷重	応答変位荷重、周面せん断力、慣性力、任意荷重



断面方向の検討

死荷重

■ 躯体自重

$$w = \text{部材厚} \times \gamma_c \quad (\text{kN/m}^2)$$

■ 鉛直土圧

$$w = \alpha \cdot \{ \sum (h_i \cdot \gamma_{ti}) \} + q \quad (\text{kN/m}^2)$$

α : 鉛直土圧係数

q : 路面荷重 (kN/m^2)

■ 水平土圧・水圧

第n層の水平土圧強度

第n層が水位より上のとき

$$p1 = K_o \cdot \left\{ q + \sum_{i=1}^{n-1} (h_i \cdot \gamma_{ti}) \right\}$$

$$p2 = K_o \cdot \left\{ q + \sum_{i=1}^n (h_i \cdot \gamma_{ti}) \right\}$$

第n層が水位以深のとき

$$p1 = K_o \cdot \left\{ q + \sum_{i=1}^m (h_i \cdot \gamma_{ti}) + \sum_{j=m+1}^{n-1} (h_j \cdot \gamma'_{ij}) \right\} + h_{w1} \cdot \gamma_w$$

$$p2 = K_o \cdot \left\{ q + \sum_{i=1}^m (h_i \cdot \gamma_{ti}) + \sum_{j=m+1}^n (h_j \cdot \gamma'_{ij}) \right\} + h_{w2} \cdot \gamma_w$$

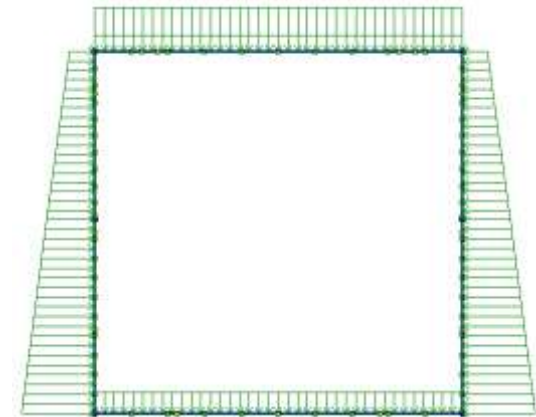
K_o : 水平土圧係数

m : 水位より上の地層数

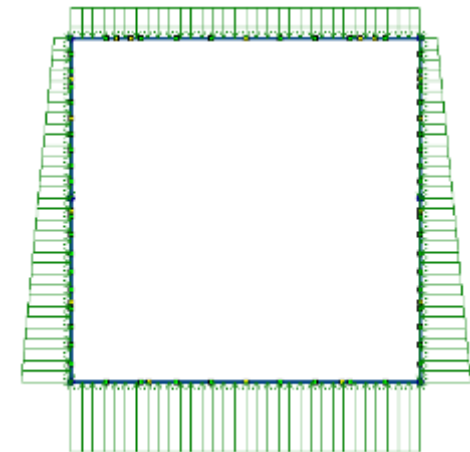
γ'_{ij} : j番目の層の水中重量 (kN/m^3) $= \gamma_{sati} - \gamma_w$

■ 揚圧力

$$w = (\text{水位から底面までの深さ}) \times \gamma_w \quad (\text{kN/m}^2)$$



▲バネ基礎時



▲底版反力時

断面方向の検討

死荷重

■底面反力

骨組モデルに載荷される荷重を集計し、骨組軸線幅を用いた地盤反力度を算出

1)合力の作用位置および偏心距離

$$X = \frac{\sum M}{\sum V}$$

$$e = \frac{FB}{2} - X$$

2)地盤反力度

$$Me = \sum V \times e$$

$$q = \frac{\sum V}{FB} \pm \frac{6 \times Me}{FB^2}$$

ここで、

X: 鉛直荷重の作用位置(m)

e: 荷重の偏心距離(m)

Me: 底面図心に作用するモーメント(kN.m/m)

FB: 軸線幅(m)

q: 地盤反力度(kN/m²)

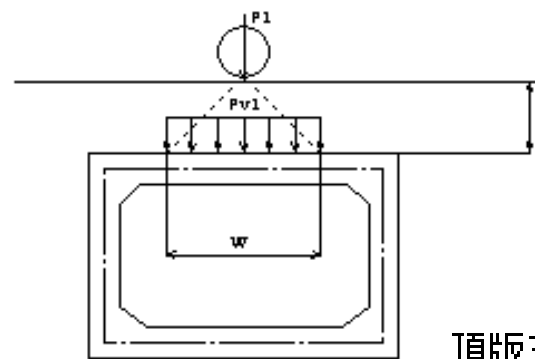
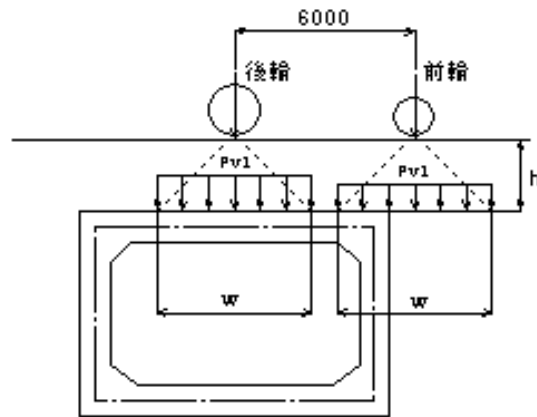
断面方向の検討

鉛直活荷重

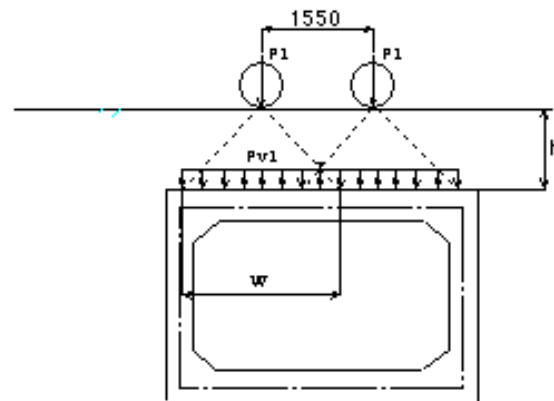
・T荷重

(2軸)

(単軸)



・TT-430荷重



頂版天端での荷重強度は、次のようになります。
後輪, 前輪(2軸のとき)ごとに、

$$p_v = \frac{2 \cdot P(1+i)}{2.75 \times (2h + 0.2)} \cdot \beta$$

ここに

p_v : 頂版に作用する鉛直荷重 (kN/m^2)

P : 輪荷重強度 (kN)

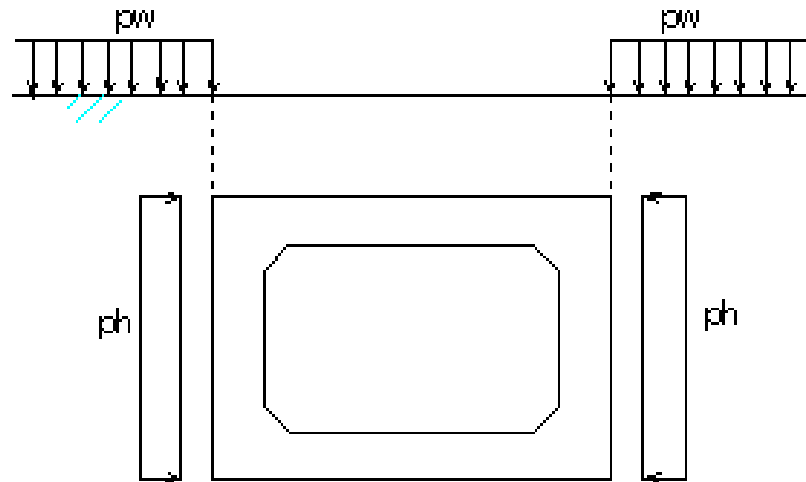
i : 衝撃係数

h : 土被り厚 (m)

β : 活荷重の低減係数

断面方向の検討

水平活荷重



$$p_h = k_o \cdot p_w$$

ここに、

p_h : 側壁に作用する水平活荷重 (kN/m^2)

p_w : 路面載荷重 (kN/m^2)

k_o : 水平土圧係数

断面方向の検討

常時の組み合わせ

- 死荷重 + 鉛直活荷重
- 死荷重 + 水平活荷重
- 死荷重 + 鉛直活荷重 + 水平荷重

検討ケース

case	死 荷 重	case	組 合 せ
1	浮力無し	1	<input checked="" type="checkbox"/> 1+1
2	浮力有り	2	<input checked="" type="checkbox"/> 1+2
		3	<input checked="" type="checkbox"/> 1+1+2
		4	<input checked="" type="checkbox"/> 2+1
		5	<input checked="" type="checkbox"/> 2+2
		6	<input checked="" type="checkbox"/> 2+1+2

case	活 荷 重
1	鉛直
2	水平

☒ 確定
 ☒ 取消
 ☒ ヘルプ(H)

▲検討ケース

任意死荷重 (断面方向)

任意死荷重 (断面方向)

単位: kN/m

長さ: 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000, 11.000, 12.000, 13.000, 14.000, 15.000, 16.000, 17.000, 18.000, 19.000, 20.000, 21.000, 22.000, 23.000, 24.000, 25.000, 26.000, 27.000, 28.000, 29.000, 30.000, 31.000, 32.000, 33.000, 34.000, 35.000, 36.000, 37.000, 38.000, 39.000, 40.000, 41.000, 42.000, 43.000, 44.000, 45.000, 46.000, 47.000, 48.000, 49.000, 50.000, 51.000, 52.000, 53.000, 54.000, 55.000, 56.000, 57.000, 58.000, 59.000, 60.000, 61.000, 62.000, 63.000, 64.000, 65.000, 66.000, 67.000, 68.000, 69.000, 70.000, 71.000, 72.000, 73.000, 74.000, 75.000, 76.000, 77.000, 78.000, 79.000, 80.000, 81.000, 82.000, 83.000, 84.000, 85.000, 86.000, 87.000, 88.000, 89.000, 90.000, 91.000, 92.000, 93.000, 94.000, 95.000, 96.000, 97.000, 98.000, 99.000, 100.000

☒ 確定
 ☒ 取消
 ☒ ヘルプ(H)

▲任意死荷重

任意活荷重 (断面方向)

任意活荷重 (断面方向)

単位: kN/m

長さ: 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000, 11.000, 12.000, 13.000, 14.000, 15.000, 16.000, 17.000, 18.000, 19.000, 20.000, 21.000, 22.000, 23.000, 24.000, 25.000, 26.000, 27.000, 28.000, 29.000, 30.000, 31.000, 32.000, 33.000, 34.000, 35.000, 36.000, 37.000, 38.000, 39.000, 40.000, 41.000, 42.000, 43.000, 44.000, 45.000, 46.000, 47.000, 48.000, 49.000, 50.000, 51.000, 52.000, 53.000, 54.000, 55.000, 56.000, 57.000, 58.000, 59.000, 60.000, 61.000, 62.000, 63.000, 64.000, 65.000, 66.000, 67.000, 68.000, 69.000, 70.000, 71.000, 72.000, 73.000, 74.000, 75.000, 76.000, 77.000, 78.000, 79.000, 80.000, 81.000, 82.000, 83.000, 84.000, 85.000, 86.000, 87.000, 88.000, 89.000, 90.000, 91.000, 92.000, 93.000, 94.000, 95.000, 96.000, 97.000, 98.000, 99.000, 100.000

☒ 確定
 ☒ 取消
 ☒ ヘルプ(H)

▲任意活荷重

断面方向の検討

応答変位法

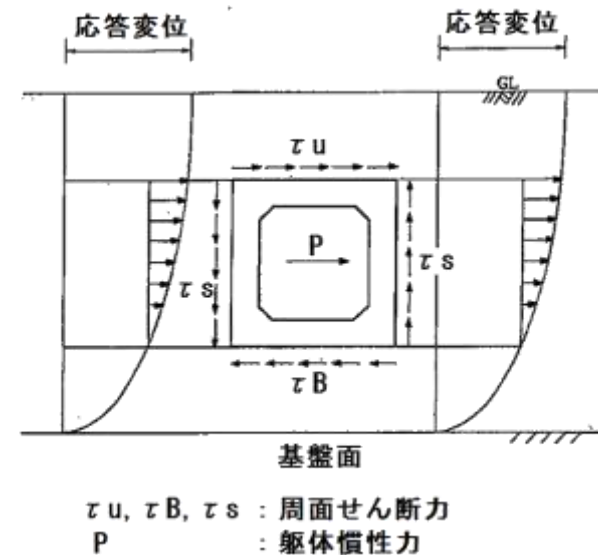
地上構造物は地震による慣性力の影響を受けて変形するのに対して、**地中構造物は慣性力の影響をほとんど受けず地盤の変形に追随して変形する。**



地震動による作用を周辺地盤の変位あるいは変形として与える方法
地盤をばねでモデル化し、地震の影響を静的な荷重として考慮

応答変位法において作用させる荷重

- ・水平変位振幅荷重
- ・周面せん断力
- ・躯体慣性力



断面方向の検討

地盤条件

$$TG = 4 \cdot \sum (H_i / V_{si})$$

ここに

TG : 地盤の特性値(s)

H_i : i番目の層の層厚(m)

V_{si} : i番目の層の平均せん断弾性波速度(m/s)

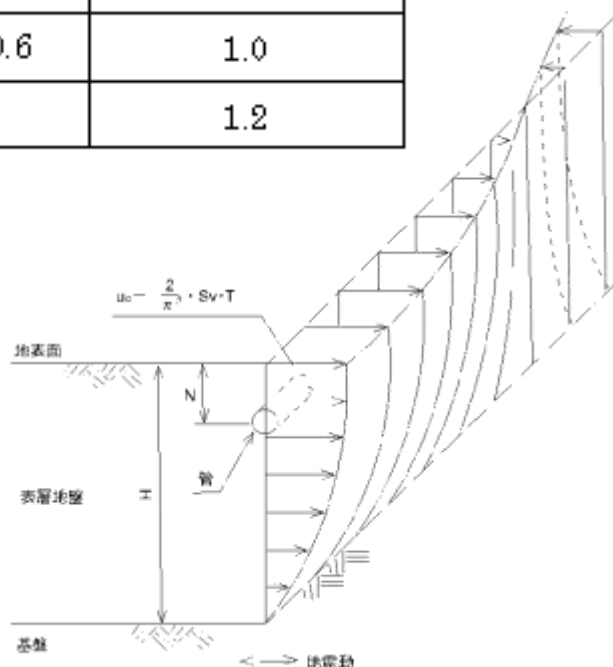
地盤種別	地盤の特性値TG(s)	地盤別補正係数SG
I種	TG < 0.2	0.8
II種	0.2 ≤ TG < 0.6	1.0
III種	0.6 ≤ TG	1.2

表層地盤の固有周期T_s

$$T_s = \alpha_D \cdot T_G$$

ここに、

α_D: 地震時に生じるひずみの大きさを考慮した係数



TG
☒ 計算値を使用
☐ 入力値を使用

TG (s)

Ts
☒ 計算値を使用
☐ 入力値を使用

Ts算出用係数(×TG) Ts (s)

L1地震時

L2地震時

▲TG, Tsの指定

断面方向の検討

設計応答速度 S_v

レベル1は「共同溝設計指針」と同じ
地域区分で異なる

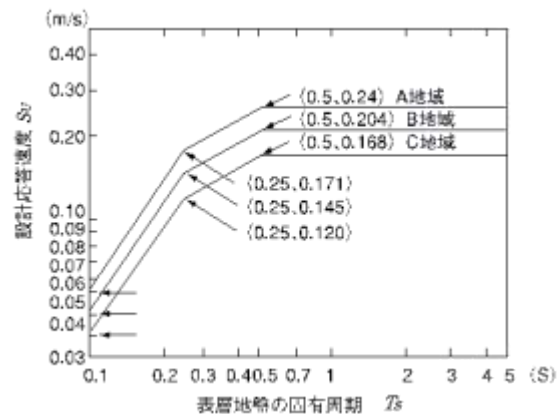


図 レベル1地震動

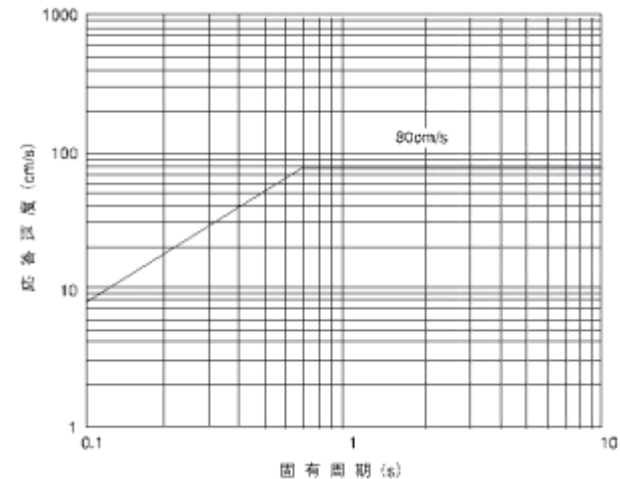


図 レベル2地震動

断面方向の検討

設計応答速度 S_v

応答速度 S_v

☒ グラフより読み取る ☐ 入力値を使用

レベル1 A地域

$T_s(s)$	$S_v(m/s)$
0.10	0.05250
0.25	0.17100
0.50	0.24000

レベル2

$T_s(s)$	$S_v(m/s)$
0.10	0.08000
0.70	0.80000

▲グラフより読み取る

応答速度 S_v

☐ グラフより読み取る ☒ 入力値を使用

	$S_v(m/s)$
レベル1	0.24000
レベル2	0.80000

参考 $T_s(\text{レベル1}) = 0.882(s)$
 $T_s(\text{レベル2}) = 0.882(s)$

▲入力値を使用

断面方向の検討

応答変位振幅および地震外力(水平力)

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

$$Q_h(z) = k_H \cdot (U_h(z) - U_h(z_B))$$

$U_h(z)$: 深さ z (m)における
地盤の水平変位振幅(m)

S_v : 設計応答速度(m/s)

T_s : 表層地盤の固有周期(s)

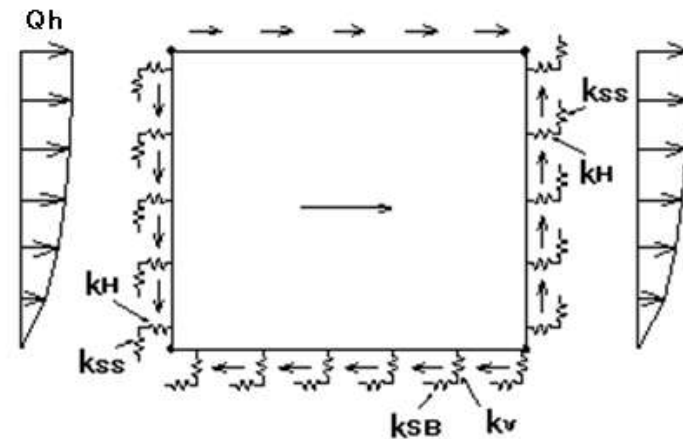
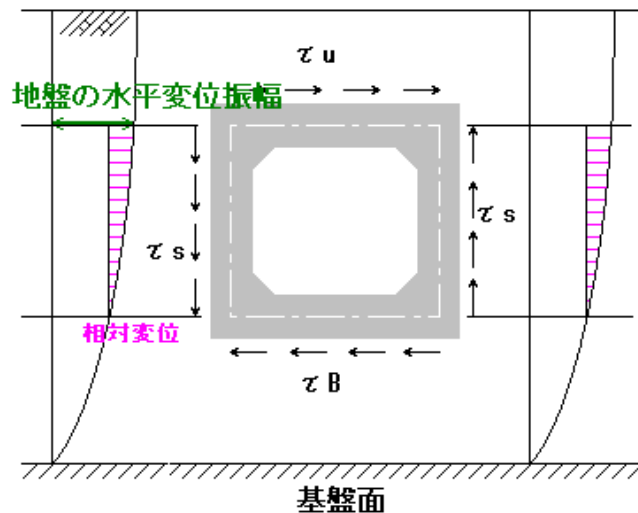
H : 表層地盤の厚さ(m)

$Q_h(z)$: 深さ z (m)における
地震外力(水平力) (kN/m²)

k_H : 表層地盤の水平方向地盤ばね定数 (kN/m³)

$U_h(z_B)$: 底版軸線位置における水平方向振幅(m)

$(U_h(z) - U_h(z_B))$: 相対変位量(m)



断面方向の検討

周面せん断力

$$\tau_u = \frac{GD}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z_u}{2 \cdot H}\right)$$

$$\tau_B = \frac{GD}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z_B}{2 \cdot H}\right)$$

$$\tau_s = \frac{GD}{\pi \cdot H} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z_s}{2 \cdot H}\right)$$

側壁部の算出方法が頂底版の平均値の場合は次式により算出します。

$$\tau_s = \frac{\tau_u + \tau_B}{2}$$

$$\tau_{\max} = c + \sigma_n \cdot \tan \phi$$

$$GD = \frac{\gamma_{\text{teq}}}{g} \cdot V_{sD}^2$$

$$\gamma_{\text{teq}} = \frac{\sum \gamma_i \cdot h_i}{H}$$

$$V_{sD} = \frac{4 \cdot H}{T_s}$$

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)

τ_{\max} : 周面せん断力の上限 (kN/m²)

σ_n : 有効上載圧 (kN/m²)

C : 地盤の粘着力 (kN/m²)

ϕ : 地盤の内部摩擦角 (°)

GD : 表層地盤の動的せん断弾性波係数 (kN/m²)

γ_{teq} : 表層地盤の単位体積重量 (kN/m³)

g : 重力加速度 = 9.8 (m/s²)

V_{sD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)

H_g : 表層地盤の厚さ (m)

z_u : 頂版深度 (m)

z_B : 底版深度 (m)

断面方向の検討

慣性力

自重に設計水平震度を乗じて載荷

1) レベル1地震時

$$k_h = C_z \cdot S_G \cdot S_I \cdot k_{ho} \cdot (1 - 0.015 \cdot z)$$

ここに、

k_h : レベル1地震動における設計水平震度

k_{ho} : 標準設計水平震度

(一般構造物: 0.2, 特殊構造物: 0.3)

C_z : 地域別補正係数

地域区分	A	B	C
補正係数 C_z	1.0	0.85	0.7

S_G : 地盤別補正係数

地盤種別	I 種	II 種	III 種
補正係数 S_G	0.8	1.0	1.2

S_I : 重要度別補正係数

z : 地表面からの深さ(m) 但し、 $1 - 0.015 \cdot z \geq 0.50$

2) レベル2地震時

$$k_h = 0.8 \cdot C_s \cdot (1 - 0.015 \cdot z) \quad \dots \text{I 種地盤}$$

$$k_h = 0.6 \cdot C_s \cdot (1 - 0.015 \cdot z) \quad \dots \text{II 種, III 種地盤}$$

ここに、

k_h : レベル2地震動における設計水平震度

C_s : じん性を考慮した場合の構造物特性係数

日本下水道協会ホームページのQ&Aより、
「応答変位法では、靱性を考慮しないので**構造物特性係数 C_s は 1.00**とします。」
と記述

☒ 設計水平震度を入力する

	レベル1	レベル2
頂版	0.257	0.585
底板	0.243	0.554
壁上端	0.257	0.585
壁下端	0.243	0.554

▲設計水平震度の直接入力

断面方向の検討

地盤ばね

$$k_H = \frac{\pi \cdot E_D}{4 \cdot (1 - \nu_D^2) \cdot H_W}$$

$$k_{SS} = \frac{k_H}{3}$$

$$k_V = \frac{\pi \cdot E_D}{4 \cdot (1 - \nu_D^2) \cdot B_W}$$

$$k_{SB} = \frac{k_V}{3}$$

ここに、

k_H : 水平方向地盤バネ定数 (kN/m^3)

k_V : 鉛直方向地盤バネ定数 (kN/m^3)

k_{SS} : 水平方向せん断バネ定数 (kN/m^3)

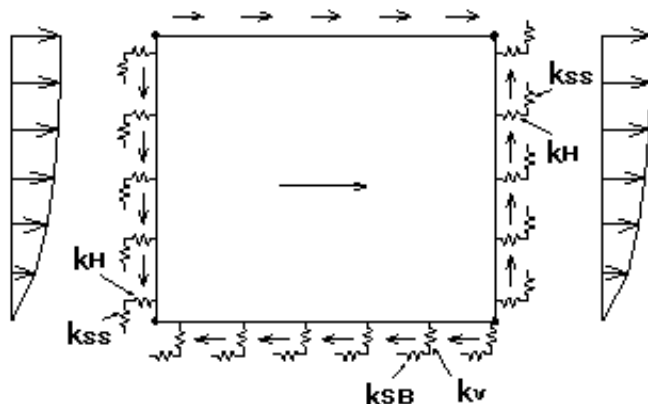
k_{SB} : 鉛直方向せん断バネ定数 (kN/m^3)

E_D : 表層地盤の動的変形係数 (kN/m^2)

ν_D : 表層地盤の動的ポアソン比

H_W : 部材高さ (m)

B_W : 部材幅 (m)



2006年版まで「道路橋示方書・同解説 下部構造編」に準じた式が、2014年版で上記式に変更。
出典は「トンネル耐震設計の方向と課題」(土木学会トンネル耐震性研究小委員会報告、平成10年)

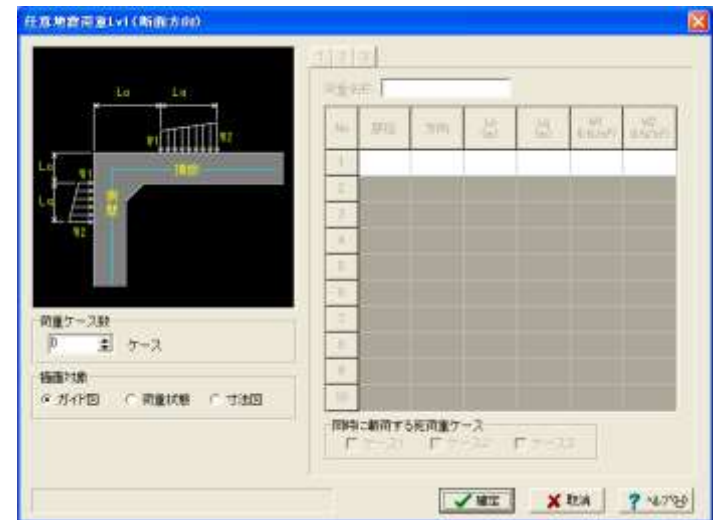
断面方向の検討

地震時の組み合わせ

(常時) + (地震時)の断面力を重ね合わせて照査。常時に活荷重を考慮しない。

(「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－(社)日本下水道協会」P.147より)

- 死荷重 + レベル1地震時荷重
- 死荷重 + レベル2地震時荷重



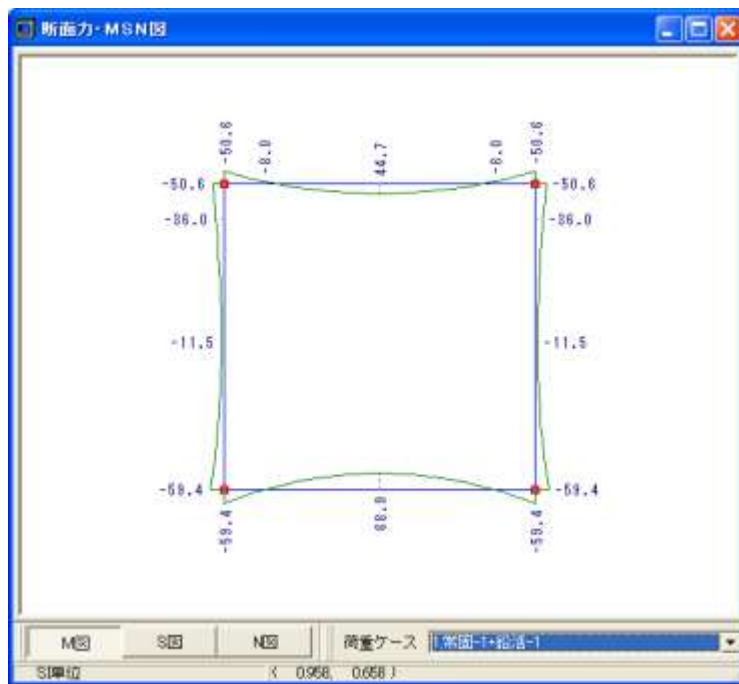
▲L1地震時用任意荷重画面

断面方向の検討

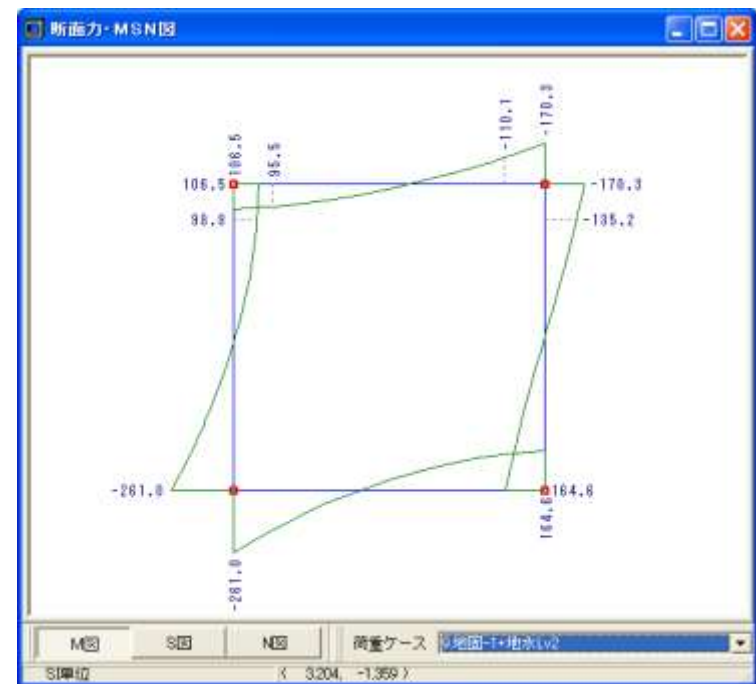
断面力の算出

微小変形理論に基づいた変位法による平面骨組構造解析(FRAME解析)により算出

微小変形理論・・・力の釣り合いを考える上では変形の影響は無視でき、力は変形前の形状に対して釣り合っていると考える



▲常時の曲げモーメント分布

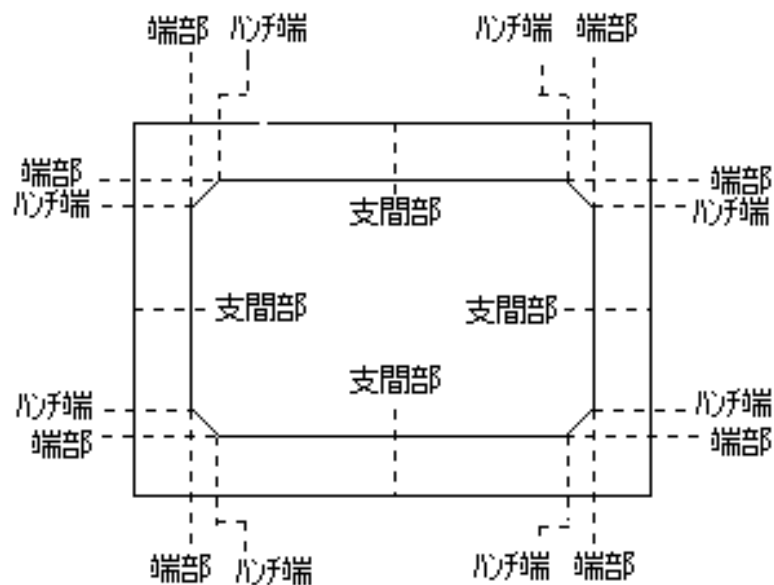


▲地震時の曲げモーメント分布

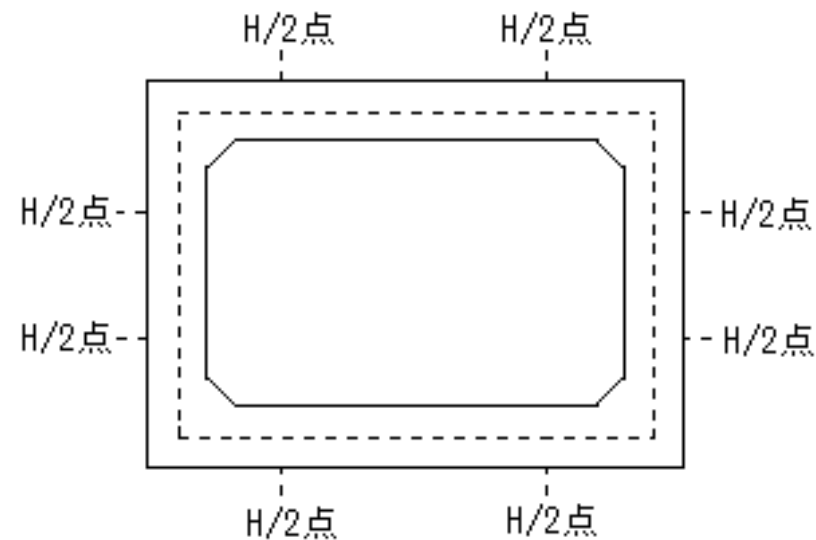
断面方向の検討

断面照査(照査位置)

◆曲げ照査



◆せん断照査



断面方向の検討

断面照査(常時、レベル1地震時)

許容応力度法

- ・曲げ応力度

曲げモーメントMと軸力Nが同時に作用する鉄筋コンクリート断面として
応力度を算出し、これが許容応力度以下であることを照査

- ・せん断応力度

平均せん断応力度または最大せん断応力度が許容せん断応力度以下
であることを照査

せん断応力度照査方法

☒ 平均せん断応力度

☐ 最大せん断応力度

平均せん断応力度の照査方法(RC部材)

☐ 土工指針(H11)

☒ 道示IV, 土工指針(H21)

▲せん断応力度の選択

断面方向の検討(断面照査 L2地震時)

断面照査(レベル2地震時)

限界状態設計法

・曲げ耐力

以下の仮定に基づいて計算した値を部材係数 γ_b で除した値とします。

また、収束条件は、偏心量(M/N)一定で算出しています。

- ① 変ひずみは、断面の中立軸からの距離に比例する。
- ② コンクリートの引張応力は無視する。
- ③ コンクリートの応力ひずみ曲線は下図による。
- ④ 鉄筋の応力ひずみ曲線は下図による。
- ⑤ PC鋼棒の応力ひずみ曲線は下図による。
- ⑥ 軸方向力はコンクリート断面の図心に作用する。
- ⑦ コンクリート断面は鉄筋断面を控除しない総断面を用いる。

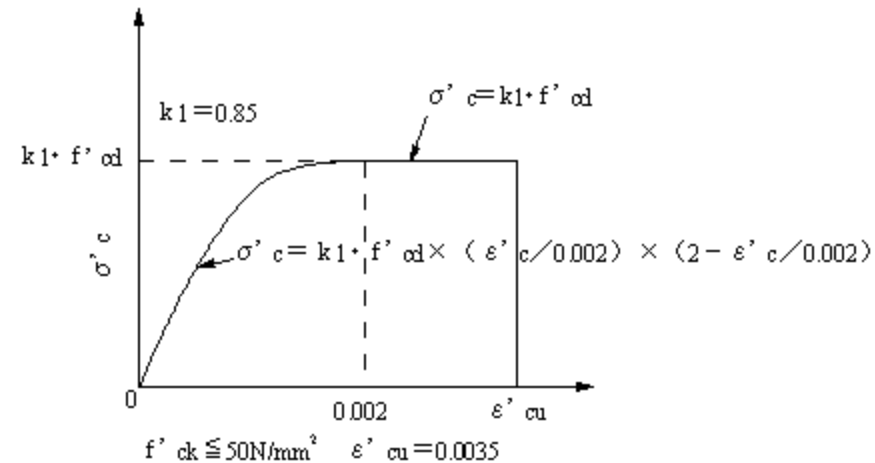
$$(\gamma_i \cdot M_d) / M_{ud} < 1.0$$

ここに、

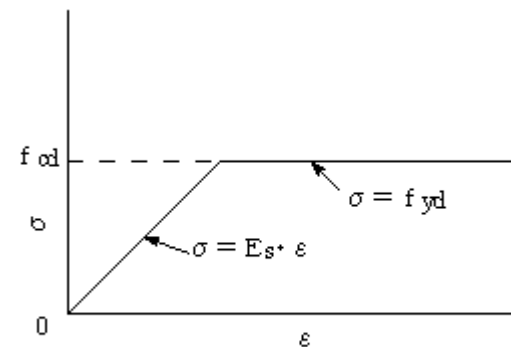
γ_i : 構造物係数

M_d : 曲げモーメント

M_{ud} : 曲げ耐力



コンクリートの応力-ひずみ曲線



鉄筋の応力-ひずみ曲線

断面方向の検討(断面照査 L2地震時)

断面照査(レベル2地震時)

限界状態設計法

・せん断耐力

$$V_{yd} = V_{od} + V_{sd}$$

ここに、

V_{od} : せん断補強鉄筋を用いない設計せん断耐力で、次式による

$$V_{od} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

$$f_{vd} = 0.20 \sqrt[3]{f_{cd}} \quad , \quad f_{vd} \leq 0.72$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{\frac{1}{d}} \quad , \quad \beta_d \leq 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 \cdot \rho_w} \quad , \quad \beta_p \leq 1.5$$

コンクリート標準示方書2002年の場合

$$\beta_n = 1 + \frac{M_o}{M_d} \quad \dots \quad (N'd \geq 0) \quad \beta_n \leq 2.0$$

$$1 + \frac{2.0 \cdot M_o}{M_d} \quad \dots \quad (N'd < 0) \quad \beta_n \geq 0.0$$

コンクリート標準示方書2007年の場合

$$\beta_n = 1 + \frac{2.0 \cdot M_o}{M_{ud}} \quad \dots \quad (N'd \geq 0) \quad \beta_n \leq 2.0$$

$$1 + \frac{4.0 \cdot M_o}{M_{ud}} \quad \dots \quad (N'd < 0) \quad \beta_n \geq 0.0$$

純曲げ耐力 M_{ud} は部材係数を1.0として算定

$$(\gamma_i \cdot V_d) / V_{yd} < 1.0$$

ここに、

γ_i : 構造物係数

V_d : せん断力

V_{yd} : せん断耐力

応答変位法による杭基礎での検討

杭基礎時の検討

(社)日本下水道協会「下水道施設耐震計算例－処理場・ポンプ場編－2002年版」
の「4. II 類（地中埋設線状構造物）」参考

1. 本体フレームモデルにおいて、杭を支点バネにモデル化



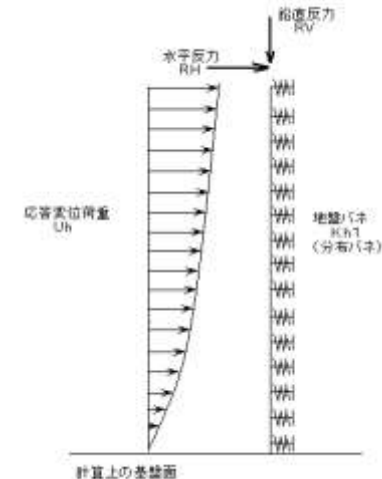
2. フレーム計算より支点バネの反力を取得



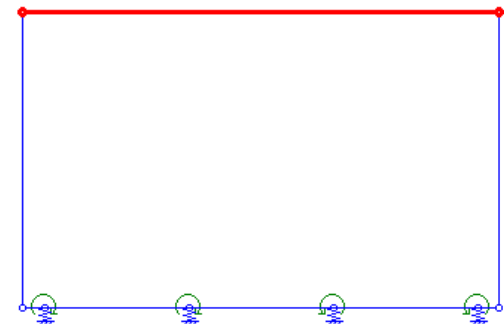
3. 杭体を弾性床上の梁にモデル化し、2で得られた反力および応答変位荷重より杭体断面力を算出



4. 3で得られた杭頭に作用するモーメントを1の支点バネ位置に載荷し、再度フレーム計算により算出



▲ 杭体断面力算出モデル



▲ 杭頭モーメント

杭基礎への対応内容

■ 対応杭種

鋼管杭／RC杭／PC杭／PHC杭／場所打ち杭／
SC杭／鋼管ソイルセメント杭

■ 杭頭条件

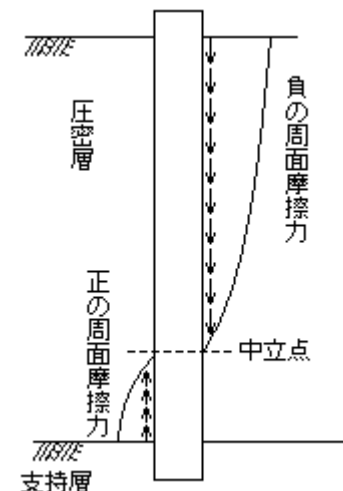
固定(剛結)／ヒンジ

■ 許容支持力・引抜力の計算

■ 負の周面摩擦力に対する検討

■ 杭体の設計

■ 杭頭補強鉄筋の計算



▲ 負の周面摩擦力

縦断方向の検討

管軸方向断面の検討

「共同溝設計指針」を参考に、応答変位法によって求める



管軸方向鉄筋(配力筋)の割り増しを調整

■断面力

- ・地盤振動の波長を考慮
- ・継手が地震変位を吸収して断面力低減を考慮

水平および鉛直面内の軸力

- ・水平面内の地盤振動による軸力

$$P_h = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot U_h$$

- ・鉛直面内の地盤振動による軸力

$$P_v = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot \frac{U_h + U_v}{2}$$

- ・軸力合成

$$P = \sqrt{2P_h^2 + 2P_v^2}$$

水平および鉛直面内の地盤振動による曲げモーメント

- ・水平面内の地盤振動による曲げモーメント

$$M_h = \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_h}{L^2} \cdot U_h$$

- ・鉛直面内の地盤振動による曲げモーメント

$$M_v = \alpha_3 \cdot \xi_3 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_v}{L^2} \cdot U_v$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 伝導率

ξ_1, ξ_2, ξ_3 : 継手を設けた場合の
低減係数

E: ヤング係数(kN/m²)

A: 断面積 (m²)

I_h: 水平方向断面二次モーメント(m⁴)

I_v: 鉛直方向断面二次モーメント(m⁴)

U_h: 重心位置の地震振動の
水平方向変位振幅(m)

U_v: 重心位置の地震振動の
鉛直方向変位振幅(m)

L: 地盤振動の波長(m)

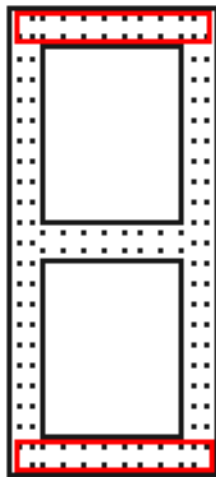
縦断方向の検討

管軸方向断面の検討

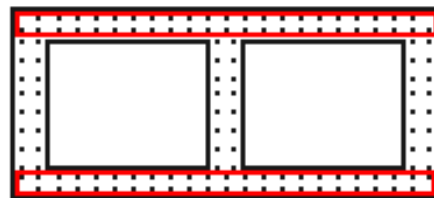
■照査内容

水平面内、鉛直面内において、NとMが作用する中空矩形断面として照査
鉄筋は赤枠の部位のみ考慮

- ・レベル1地震時: 曲げ応力度照査
- ・レベル2地震時: 曲げ耐力照査



▲水平面内



▲鉛直面内

プログラムでは腹部鉄筋の考慮も可

断面照査での腹部鉄筋(縦方向の計算)

☒ 考慮しない

☐ 考慮する

BOXカルバートの設計・3D配筋(下水道耐震) Ver.12

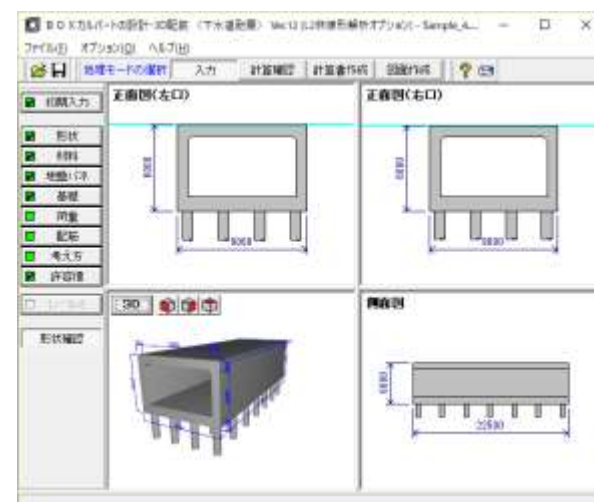
定価(税別) ￥306,000

概要

「下水道基準」に準拠したボックスカルバートの耐震設計プログラム

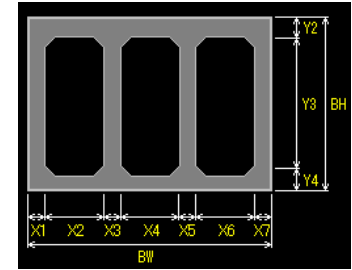
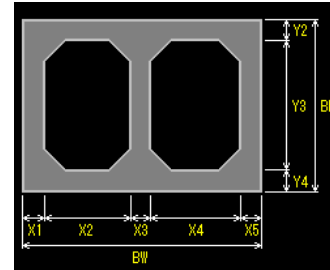
適用基準

- ・下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版
- ・下水道施設の耐震対策指針と解説-2006年版
- ・下水道施設耐震計算例-管路施設編-前編2015年版
- ・下水道施設耐震計算例-管路施設編-後編2001年版
- ・下水道施設耐震計算例-処理場・ポンプ場編-2015年版
- ・下水道施設耐震計算例-処理場・ポンプ場編-2002年版
- ・土地改良施設 耐震設計の手引き H16.3
- ・水道施設耐震工法指針 1997年版
- ・水道施設耐震工法指針 2009年版
- ・2007年制定 コンクリート標準示方書 設計編
- ・道路土工カルバート工指針 H21.3/H11.3
- ・杭基礎設計便覧(H18年度改訂版) H19.1
- ・共同溝設計指針(S61.3)
- ・道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編 H24.3/H14.3
- ・道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編 H24.3/H14.3
- ・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計[水路工] H26.3



機能および特長

- 単BOXから2連、3連ボックスまで対応



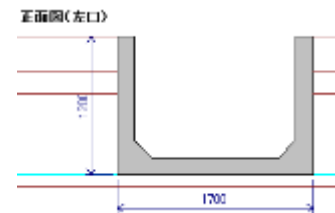
- PC箱体に対応

頂底版をPC部材、側壁をRC部材

頂底版はPC鋼棒の影響を考慮した応力度および耐力照査

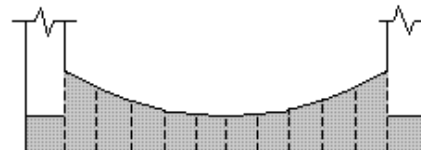
- 開きよに対応

(応答変位法／震度法)



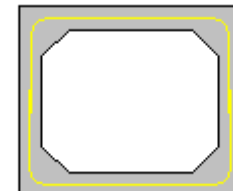
- インバート形に対応

分割して底版自重に考慮



機能および特長

- 温度変化を考慮した検討 (RC函体)
- 乾燥収縮を考慮した検討 (RC函体)
- 単鉄筋構造 (RC函体の単BOXで直接基礎)
- 最小鉄筋量 (RC部材)
- 最大鉄筋量 (RC部材)



▲ 単鉄筋構造

温度変化(°C) (RC函体 - 矩形きょ)

	温度上昇	温度下降	乾燥収縮
頂版	15.0	-15.0	-15.0
左側壁	0.0	0.0	0.0
右側壁	0.0	0.0	0.0
底板	0.0	0.0	0.0

▲ 温度変化、乾燥収縮の入力

結果確認(断面方向: 総括表) [計算単位系: SI単位]

常時 温度変化時 ベル/地震時 レベル/地震時

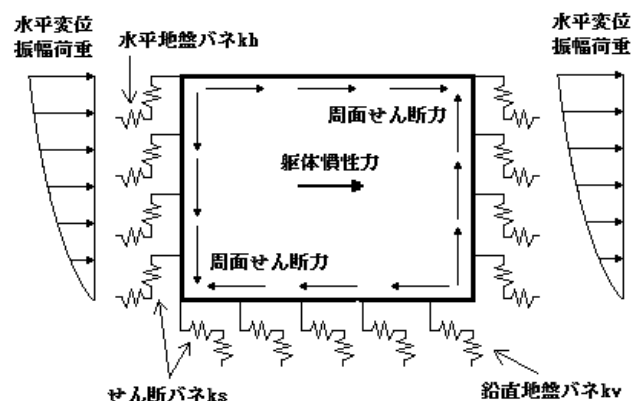
照査位置	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	ϵ (%/mm ²)
頂版 左端部	4.48 ≤ 9.20	120.78 ≤ 207.00	0.351 ≤ 0.898
頂版 支間部	4.39 ≤ 9.20	141.60 ≤ 207.00	0.239 ≤ 0.448
頂版 右端部	4.48 ≤ 9.20	120.78 ≤ 207.00	0.351 ≤ 0.898
側壁 上端部	2.68 ≤ 9.20	69.05 ≤ 207.00	0.133 ≤ 0.898
側壁 支間部	0.58 ≤ 9.20	-6.12 ≤ -230.00	0.104 ≤ 0.448
側壁 下端部	3.02 ≤ 9.20	62.78 ≤ 207.00	0.210 ≤ 0.898
底板 左端部	3.18 ≤ 9.20	80.65 ≤ 207.00	0.254 ≤ 0.898
底板 支間部	4.30 ≤ 9.20	181.88 ≤ 207.00	0.175 ≤ 0.448
底板 右端部	3.18 ≤ 9.20	80.65 ≤ 207.00	0.254 ≤ 0.898

単位系切替 印刷 閉じる ヘルプ

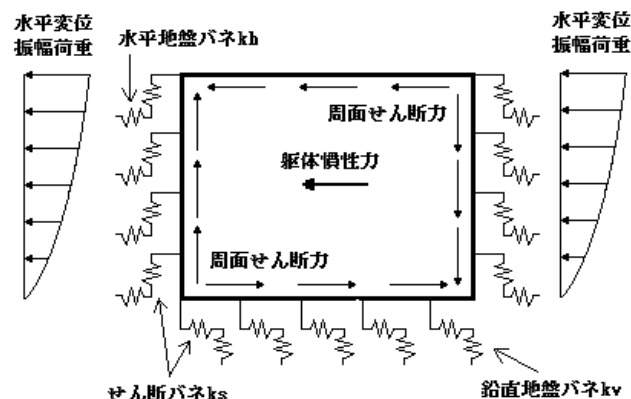
▲ 温度変化考慮時の結果確認

Ver.13での主な新機能(1/2)

- ・断面方向検討:地震の向き設定
- ・杭種追加:鋼管ソイルセメント杭



右向き



左向き

初期入力

本体設定 | 縦方向 | 杭基礎設定 | 液状化の判定 |

杭種

- ☐ 鋼管杭 ☐ RC杭 ☐ PC杭 ☐ PHC杭
☐ 場所打ち杭 ☐ SC杭 ☒ 鋼管ソイルセメント杭

施工工法

- ☒ 打込み(打撃) ☐ 打込みリパイプハンマ
☐ 中掘り ☐ プレボーリング

基本データ(鋼管ソイルセメント杭)

ソイルセメント柱径	(m)	0.8000
鋼管径	(m)	0.6000
外側錆代	(mm)	2.0

No	杭長 (m)	鋼管厚 (mm)	材質	計算ピッチ (m)
1	15.00	30.0	SKK400	1.00
2	10.00	25.0	SKK400	2.00
3	10.00	20.0	SKK400	2.90

ソイルセメントの変形係数 Esc *10⁵ (kN/m²)

ソイルセメントの単位重量 γ_{sc} (kN/m³)

Ver.13での主な新機能(2/2)

・3Dアトリビュート

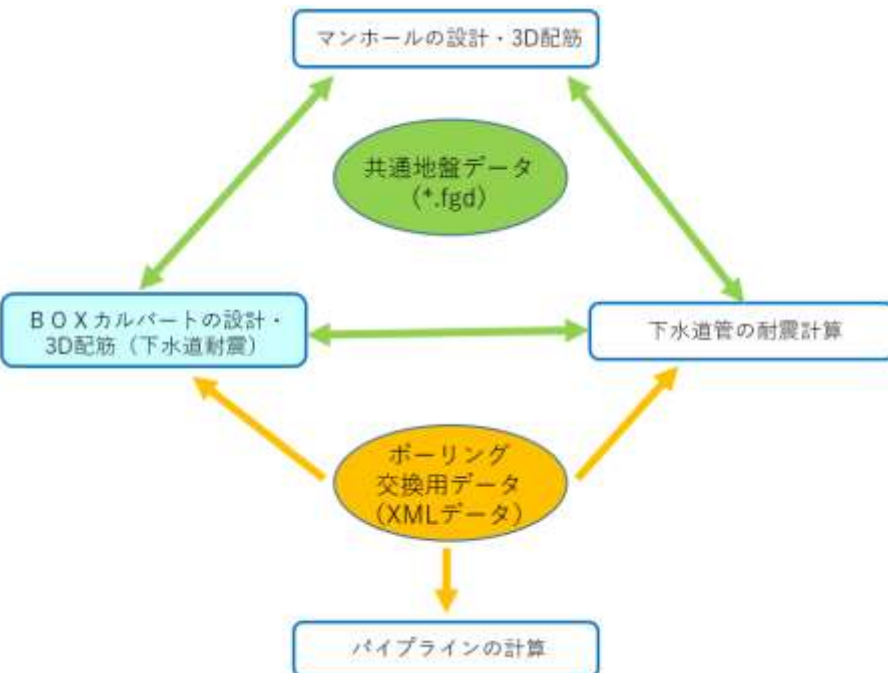
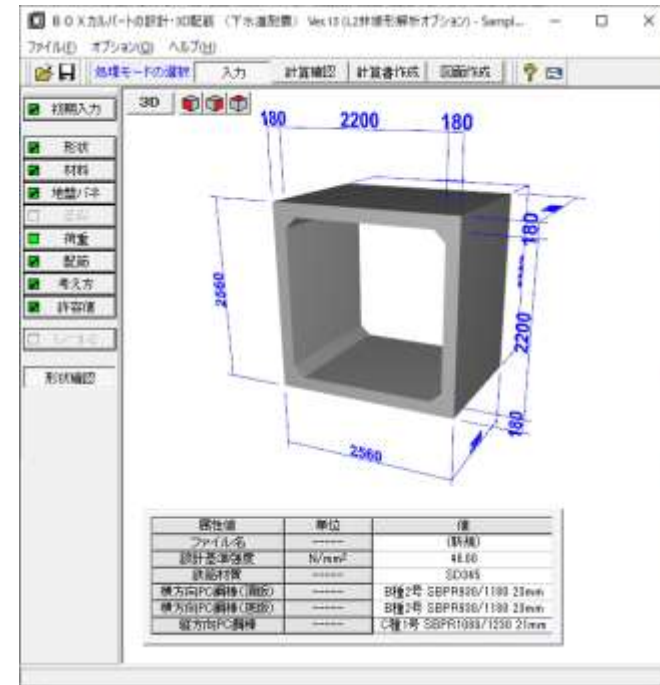
・地盤データ連携

・共通地盤データ(*.fgd)

BOX下水、下水道管、マンホール間で地盤情報の連携が可能

・ボーリング交換用データ(*.XML)

「地質・土質調査成果電子納品要領 平成28年10月 国土交通省」
「第2編 ボーリング柱状図編」で規定



ボックスカルバートの耐震設計概要



これにて1単元目「ボックスカルバートの耐震設計概要」の解説を終わります。