

## 課題2:せん断耐力の算定

### 0. はじめに

課題1にて記したように骨組部材(柱/梁部材)には、一般に軸力、曲げモーメント、せん断力が作用するが、課題2では、軸力を考慮したせん断耐力を算定する(この場合、軸力とせん断力の複合断面力を受ける断面の相互作用図(*interaction curve*)と考えることができる)。特に、柱部材では地震荷重や風荷重による水平力を受け、上載荷重下におけるせん断耐力評価は耐震/耐風設計上極めて重要となる。

### 1. 軸力作用時におけるせん断耐力算定の算定式<sup>1)</sup>

#### 1.1 修正トラス理論

梁柱部材のせん断耐荷機構は、トラス理論によって説明されることが多い(*truss analogy*)。トラス理論は斜めひび割れを生じた部材断面に関して、軸方向鉄筋を平行な上下弦材、せん断補強筋を引張腹材、ひび割れたコンクリートを斜め圧縮材に置換えて、モデル化するものである。これは複雑なせん断耐荷機構を明快かつ合理的に説明することができ、古くから用いられているが(古典的トラス理論)、近年、コンクリートによる付加分を加えた修正トラス理論が多用されており、各国の示方書の取り入れられている。

#### 1.2 せん断耐力の算定式

修正トラス理論によるせん断耐力  $V_y$  は、せん断補強筋による耐力  $V_s$  およびコンクリートによる寄与分  $V_c$  による合算として与えられ、次式で表される。

$$V_y = V_c + V_s \quad (1)$$

$V_s$  は塑性トラス理論で算定することができるが、圧縮ストラットの角度  $\theta$  の値(通例  $\theta = 45^\circ$ )などいくつかの仮定値を必要とする。一方、コンクリート寄与分  $V_c$  は当初「せん断補強筋によるもの以外の成分」として導入されたが、その源泉は明確に解明されているとは言い難い。このため、 $V_c$  成分は実験式として記述されることが多く、各国示方書で独自の算定式が用いられている。

なお、軸力の効果は  $V_c$  にて考慮されることが多く、トラス理論による  $V_s$  には理論上軸力の影響を受けない。また、せん断抵抗成分として軸力項を独立に評価することがあり、これを第3項  $V_p$  として加算し、次式のように表すことがある<sup>2)</sup>。

$$V_y = V_s + V_c + V_p \quad (2)$$

[土木学会コンクリート標準示方書]<sup>3)</sup>

※土木学会:平成8年制定 コンクリート標準示方書 設計編,耐震設計編 参照

[道路橋示方書]<sup>4)</sup>

※日本道路協会:道路橋示方書 V 耐震設計編 平成8年版 参照

[海外の基準]<sup>5)</sup>

USA CODES (AASHTO, ACI, ATC-32, Caltrans, etc), EU CODE, NEW ZEALANDE CODE 等

### 1.3 大変形時のせん断耐力(耐震設計)

通例、曲げ耐力とせん断耐力は相互に独立と考え、両者は分離して算定される。しかし、強震下における繰返し大変形(主筋降伏変位を超える大変形)を受けた場合、その断面でのせん断耐力が減少することが指摘され、耐震設計上重要な論点となっている。これは、前述のコンクリート寄与分  $V_c$  が減殺されると考えられ、式(1)を

$$V_y = \zeta V_c + V_s \quad (3)$$

のように修正して表示することができる。ここで、コンクリート寄与分  $V_c$  の低減係数  $\zeta$  は、曲げ変形による損傷がない場合、初期値  $\zeta = 1$  をとり、以降地震時の繰返し変形に伴う曲げ損傷により、逐次減少し、 $0 < \zeta < 1$  のように減少するものである。

## 2. 計算プログラム(SNExcel)の概要

このようなせん断耐力の算定および図化を行うため、Microsoft の表計算プログラム Excel97 を用いた計算プログラム SN-Excel を作成し、以下にその概要を示す。

### 2.1 計算フロー

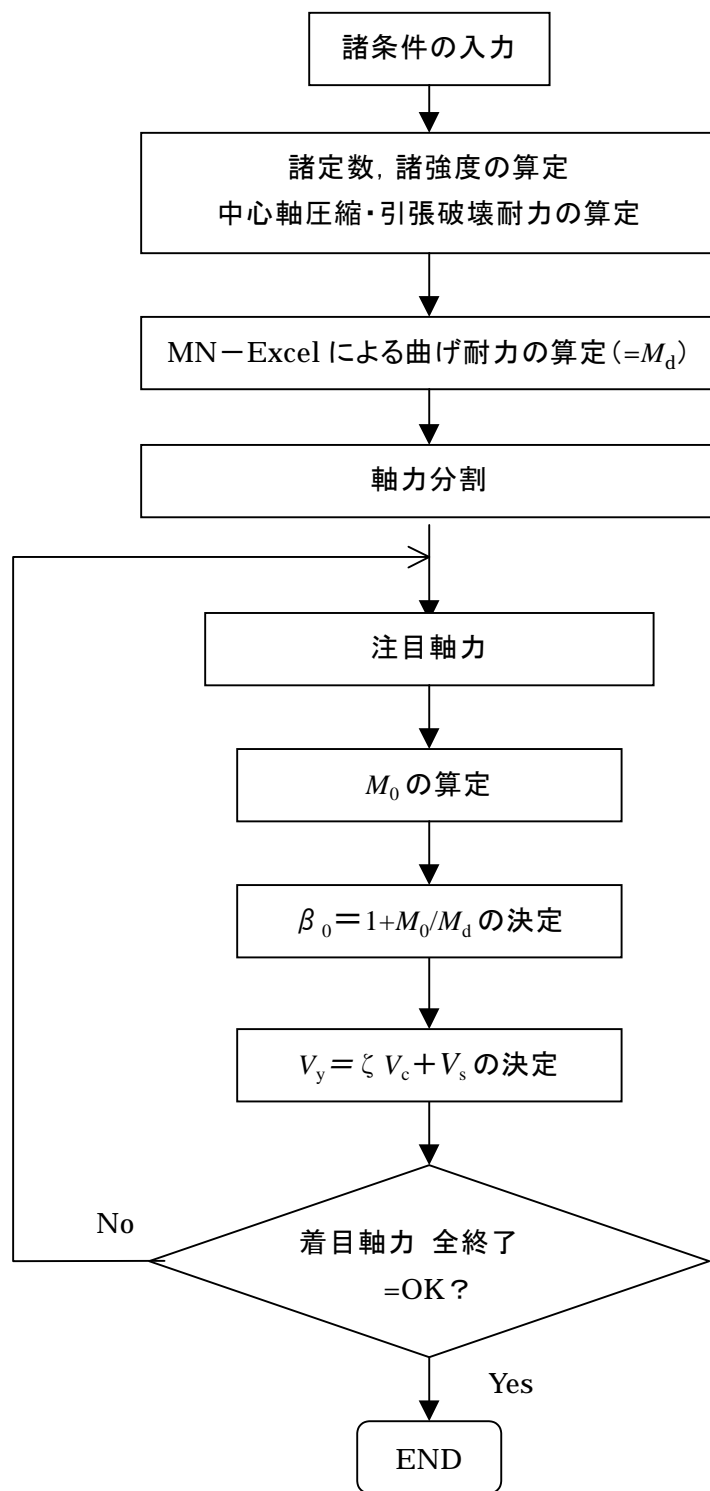


図-5 計算プログラム SN-Excel の解析フロー

## 2.2 入力条件の設定と諸定数の算定

SNExcel における入力諸条件(左表)とそれらによって算出される諸定数・諸強度(右表)を示す。(これは SNExcel の画面イメージと同じものである)

	$b = b_w$	90 (cm)
	$h$	90 (cm)
	$d_2$	6 (cm)
	$d_1$	84 (cm)
	$p_{t2}$	1.26%
	$p_{t1}$	1.26%
	$f_c'$	270 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_y'$	3000 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_y$	3000 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_{wy}$	3000 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$\alpha_s$	90 度
	$S_s$	30 (cm)
	$A_w$	1.2724 (cm <sup>2</sup> )
	$E_s$	2.10E+06 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$E_c$	2.10E+05 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$\varepsilon_{cu}'$	0.0035
	$\varepsilon_y, \varepsilon_y$	0.00143
柱高さ	$H$	3.25 (m)
上部工重量	$W_u$	200 (tf)

	$A_{s2}$	95.256 (cm <sup>2</sup> )
	$A_{s1}$	95.256 (cm <sup>2</sup> )
	$A_g$	1.01412 (m <sup>2</sup> )
	$x_g$	44.40 (cm)
	$I_g$	0.08365 (m <sup>4</sup> )
	$W_g$	0.183 (m <sup>3</sup> )
	$y_c$	45 (cm)
	$y_t$	39 (cm)
	$x_b$	59.65 (cm)
基部での軸圧縮力	$N'$	206.5813 (tf)
軸圧縮応力度	$\sigma_0$	27.3 (kgf/cm <sup>2</sup> )
		(kgf/cm <sup>2</sup> )

### 強度, せん断耐力

	$f_t$	20.89 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_{vc}$	5.82 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_{wcd}$	65.73 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$\beta_d$	1.04
	$\beta_p$	1.08
	$\beta_n$	1.16
	$M_0$	50.1 (tf-m)
	$V_s$	9.3 (tf)
	$V_{wc}$	248.4 (tf)
	$V_c$	57.8 (tf)

## 2.3 結果出力と図化

### ・計算結果の出力

以下の計算結果がそれぞれ算出される。

- ①せん断耐力  $V_y$  と軸力  $N$  の関係 ( $V_y - N$ ) …  $V_s$  パラメータ
- ②せん断耐力  $V_y$  と軸力  $N$  の関係 ( $V_u - N$ ) …  $\zeta$  パラメータ
- ③柱の曲げに関する諸耐力 ( $M_{cr}, M_y, M_u$ )

### ・図化

- ①②の計算結果が図化される。表示単位は以下の3種類考えられるが、実単位の場合が出力される。

実単位 :  $V$  [tf],  $N$  [tf]

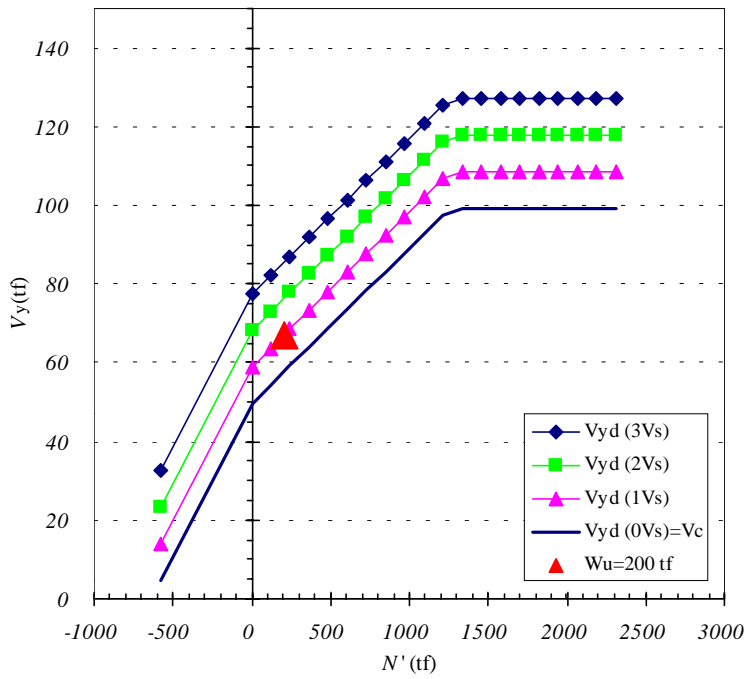
強度表示 :  $V/bd$  [kgf/cm<sup>2</sup>],  $N/bd$  [kgf/cm<sup>2</sup>]

無次元表示 :  $V/bdf_c'$ ,  $N/bdf_c'$

- 軸力なしの場合の、せん断補強度  $p_w f_{wy} / S_s$  をパラメータとしたせん断耐力  $V_y$  と曲げ耐力  $M_u/a$  を併記したものが図化される。

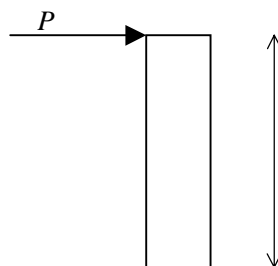
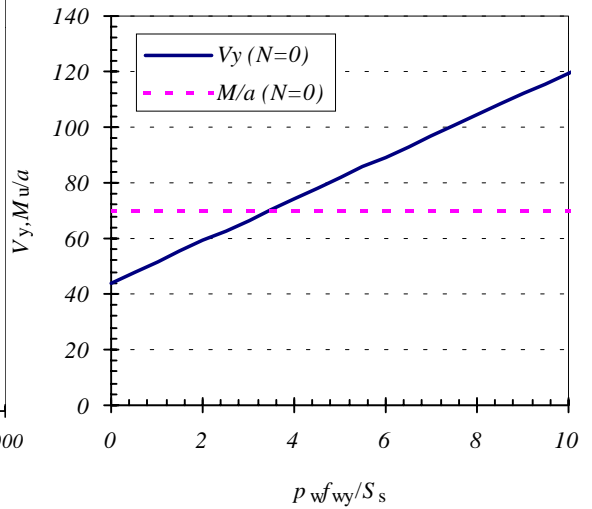
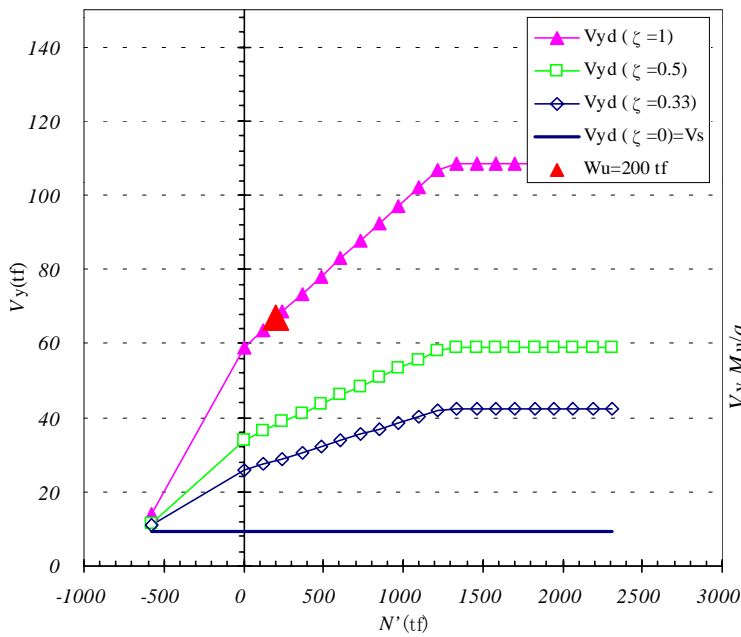
【計算例】

①



設定条件		
$b$	90	(cm)
$h$	90	(cm)
$d_2$	6	(cm)
$p_{t1}$	0.0126	
$p_{t2}$	0.0126	
$f'_c$	270	(kgf/cm <sup>2</sup> )
$f_y=f'_y$	3000	(kgf/cm <sup>2</sup> )
$A_w$	1.2724	(cm <sup>2</sup> )
$S_s$	30	cm
$H$	3.25	(m)
$W_u$	200	(tf)
$\gamma_c$	1.00	
$\gamma_s$	1.00	
$\gamma_{bc}$	1.00	
$\gamma_{bs}$	1.00	
$\gamma_b$	1.00	

②



せん断スパン比:  $a=H$

### 3. 課題計算

#### 3.1 課題計算 #1

下図のような 2 種の標準複鉄筋長方形断面について(課題 #1 と同断面), 表 1 の条件に従い曲げ耐力を求めよ.

Type A 道路橋高架橋の断面 <sup>6)</sup>

Type B 鉄道高架橋の断面 <sup>7)</sup>

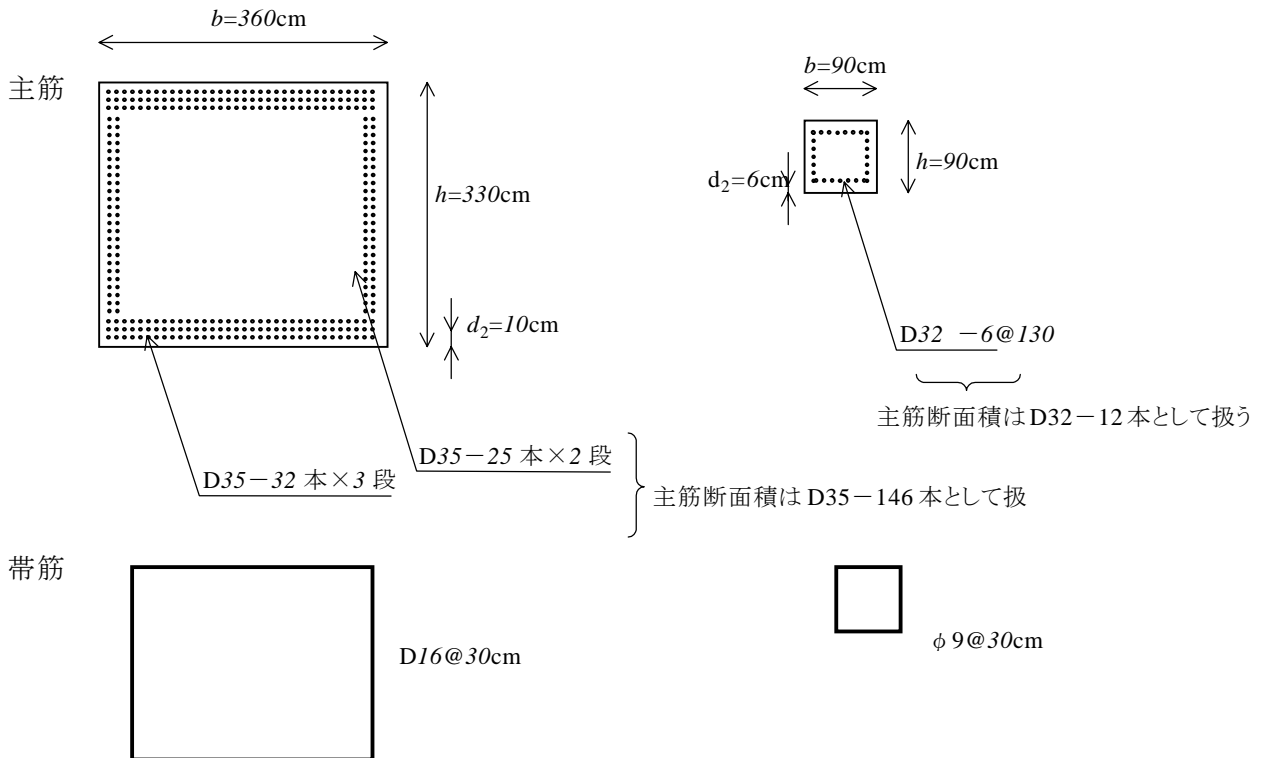


表 1

標準断面		道路橋高架橋	鉄道高架橋
断面寸法	$b$	360cm	90cm
	$h$	330cm	90cm
	$d_1$	320cm	84cm
	$d_2$	10cm	6cm
帯筋 (せん断補強筋)	$A_w$	D16	$\phi 9$
	$S_s$	30cm	30cm
鉄筋量 (主筋)	$A_{s1}$	D35-146 本	D32-12 本
	$A_{s2}$	D35-146 本	D32-12 本
柱高さ	$H$	10.60m	3.25m
上部工重量	$W$	3256tf	200tf
材料強度	$f'_c$	270 (kgf/cm <sup>2</sup> ) SD30	
	$f_y = f'_y$		

※側方鉄筋や段配筋は計算プログラム(SNExcel)上は考慮できないので, 1 段に集約させ概算として上記数値を用いる.

### 3. 2 課題計算 #2

表 2, 表 3 を参考にして標準断面の帯筋, 鉄筋比, 材料強度を数種選択し, せん断耐力と軸力の相互作用図求めよ.

表 2

帯筋	$A_w$	D10~D19
	$S_s$	10cm, 15cm, 20cm, 30cm
材料強度	$f_c'$	210, 240, 270, 300, 350, 400 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	$f_v = f_v' = f_{wv}$	SD30, SD35, SD40

表 3

安全係数	$\gamma_s$	1.0~1.1
	$\gamma_c$	1.0~1.3
	$\gamma_{bs}$	1.0~1.2
	$\gamma_{bc}$	1.0~1.3

#### 参考文献

- 1) 吉川弘道:鉄筋コンクリートの解析と設計—限界状態設計法の考え方と適用—、第6章せん断力を受ける部材, 丸善, 1995. 6, pp. 123~146.
- 2) Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M.:SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, Wiley-Interscience, 1996.
- 3) 土木学会:平成8年制定 コンクリート標準示方書 設計編, 1996.
- 4) 日本道路協会:道路橋示方書 V 耐震設計編 平成8年版, 1996
- 5) TANABE:COMPARATIVE PERFORMANCES OF SEISMIC DESIGN CODES FOR CONCRETE STRUCTURES VOLUME 1, Elsevier Science, 1999.
- 6) JCI 近畿支部, 土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会 中間報告書, 1995. 12.
- 7) 鉄道総合研究所, 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 1996. 11