

一貫構造計算プログラムによる 接合部せん断検定の注意点

1. はじめに	1
2. SABTEC 機械式定着プログラムによる接合部せん断検定結果	2
2.1 A-2 通架構最上階 L 形、T 形接合部	
2.2 A-2 通架構 2, 3 階 ト形接合部	
3. BUILD. 一貫IV+による接合部せん断検定	5
3.1 接合部せん断検定方法	
3.2 接合部せん断検定結果	
4. 接合部せん断検定結果のまとめ	8



Supporting Association for Building Structural Technology

一般社団法人

建築構造技術支援機構

1. はじめに

機械式定着工法 SABTEC 共通設計指針による接合部せん断検定は、性能検定方式と技術基準方式、ならびに接合部設計用せん断力の2通りの算定方法(①部分架構モデル、②Ds 算定時応力を用いる方法)、すなわち、2×2=4通りの方法で行うことができる。ここで、部分架構モデルによる接合部設計用せん断力は、メカニズム時接合部設計用せん断力に該当する。

また、一貫構造計算プログラム(BUILD. 一貫IV+)では、3章で詳述するように、①メカニズム時柱または梁せん断力を用いる場合、②Ds 算定時曲げモーメントより求めた梁主筋引張力を用いる場合、③終局時鈎合い式より求めた柱せん断力を用いる場合の3通りがある。

本資料では、SABTEC 機械式定着プログラム解説書で示した試設計建物(12階板状共同住宅)について、上記の検定方法によって接合部せん断検定結果がどのように変化するか、設計時にいずれの接合部せん断検定方法を選定すべきかについて検討する。本検討では、桁行方向ト形、L形、T形接合部内の梁、柱主筋定着長さは、すべて0.75Dcまたは0.75Dgとする。Dcは柱せい、Dgは梁せいを示す。

代表階伏図および検討対象の桁行方向A通、B通軸組図を図1、図2、Ds算定用のA通架構ヒンジ図および層せん断力-層間変形関係図を図3、図4に示す。その他の構造諸元は、SABTEC 機械式定着プログラム解説書4章を参照されたい。

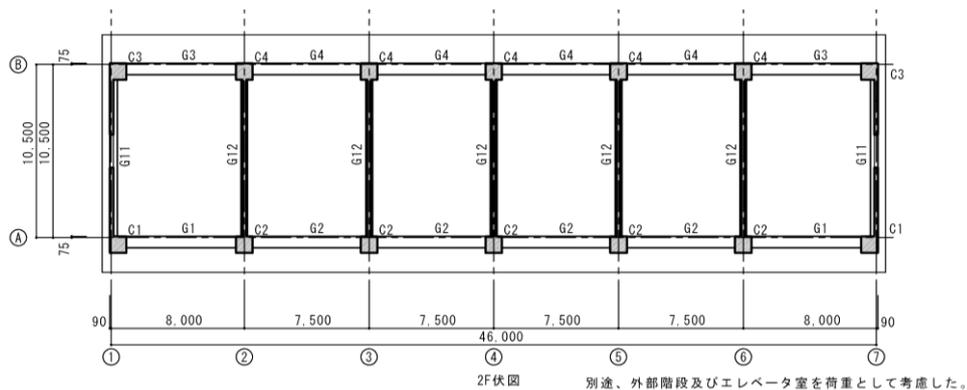


図1 代表階伏図(2階伏図)

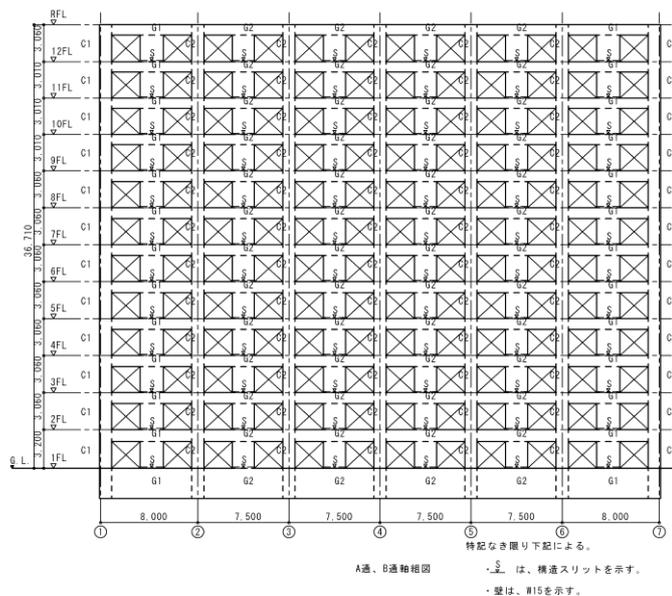


図2 A通、B通軸組図

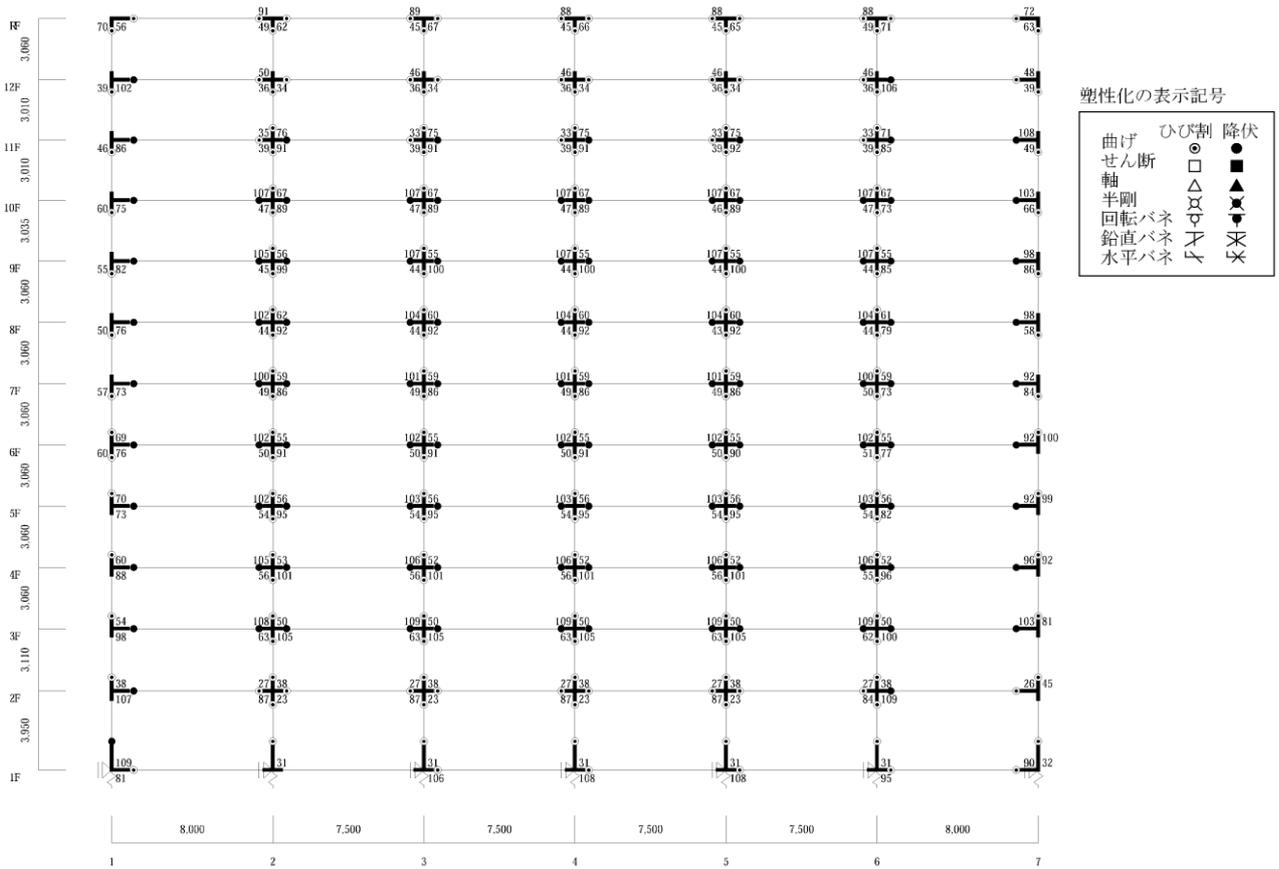


図 3 Ds 算定用の A 通架構ヒンジ図(左加力)

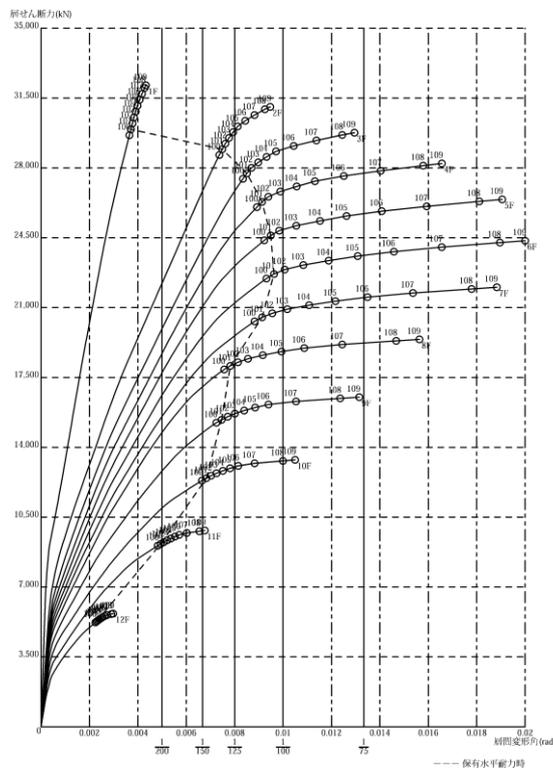


図 4 Ds 算定用の層せん断力ー層間変形関係図(左加力)

2. SABTEC 機械式定着プログラムによる接合部せん断検定結果

2.1 A 通架構最上階 L 形、T 形接合部

A 通架構最上階 L 形、T 形接合部のせん断検定結果(左加力)を表 1 に示す。同表によると、

- 1) L 形接合部の場合、性能検定方式、技術基準方式ともに、Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は、部分架構モデルの 0.6~0.7 倍程度(A-1 通)か、1.1~0.9 倍程度(A-7 通)である。

A-1 通では、部分架構モデルと Ds 算定時応力による柱せん断力の差異が影響し、A-7 通では、上記の差異のほかに、スラブ筋の効果の差異が影響したと考えられる。

性能検定方式でも、Ds 算定時応力の場合、弾塑性解析時の剛床仮定に伴い、梁には軸力が生じないので、L 形接合部の形状係数 $\kappa_u=0.4$ としている。この点も、部分架構モデルと Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) の差異に影響したと考えられる。

- 2) 性能検定方式のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は、部分架構モデルでは技術基準方式の 1.3~1.5 倍程度、Ds 算定時応力では技術基準方式の 1.2 倍程度である。
- 3) T 形接合部の場合、性能検定方式、技術基準方式ともに、Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は、部分架構モデルの 2.0 倍程度である。この差異は、Ds 算定時応力による柱せん断力が部分架構モデルの 0.3~0.4 倍程度となったことに起因すると考えられる。
- 4) 性能検定方式のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は、部分架構モデルでは技術基準方式の 1.0 倍程度、Ds 算定時応力では技術基準方式の 1.1 倍程度である。

上記のように、最上階 L 形、T 形接合部の場合、部分架構モデルと Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) の差異は、性能検定方式と技術基準方式の差異に比べて大きい。

性能検定方式、技術基準方式ともに、部分架構モデルの場合、確定した崩壊型を用いているので、せん断検定比の計算値は、弾塑性解析の計算値に係わず一定値となる。一方、Ds 算定時応力の場合、せん断検定比の計算値は、弾塑性解析による Ds 算定時応力に左右されるので、部分架構モデルの計算値も考慮し、最上階 L 形、T 形接合部を設計することが望ましい。

表 1 SABTEC 機械式定着プログラムによる接合部せん断検定結果(左加力)
- A 通架構最上階 L 形、T 形接合部 -

階	通	種別	性能検定方式										技術基準方式									
			部分架構モデル					Ds算定時応力					部分架構モデル					Ds算定時応力				
			T _{gy} (kN)	T _{gy'} (kN)	Q _{cu} (kN)	V _{mu} (kN)	V _{pu} /V _{mu}	T _{gy} (kN)	T _{gy'} (kN)	Q _{cu} (kN)	V _{mu} (kN)	V _{pu} /V _{mu}	T _{gy} (kN)	T _{gy'} (kN)	Q _{cu} (kN)	V _{mu} (kN)	V _{pu} /V _{mu}	T _{gy} (kN)	T _{gy'} (kN)	Q _{cu} (kN)	V _{mu} (kN)	V _{pu} /V _{mu}
R階	A-1通	L形	0	939	390	549	2.24	0	887	117	740	1.47	0	826	434	393	2.85	0	781	151	663	1.69
	A-2通	T形	0	1878	1512	1686	1.13	0	1016	514	871	2.19	0	1653	1339	1494	1.16	0	881	514	736	2.35
	A-7通	L形	1426	0	1015	1426	1.35	886	0	105	746	1.46	1238	0	650	588	1.98	780	0	151	674	1.73

【記号】 T_{gy}, T_{gy'} : 左右梁引張主筋の上限引張力またはDs算定時引張力、Q_{cu} : メカニズム時またはDs算定時柱せん断力

V_{mu} : 接合部設計用せん断力、V_{pu} : 接合部せん断終局耐力

(接合部検定比 V_{pu}/V_{mu} に関する注記)

- 1) 性能検定方式のL形接合部の場合、接合部検定比 V_{pu}/V_{mu} は、部分架構モデルでは水平方向、Ds算定時応力では鉛直方向せん断力で決定した。
- 2) 性能検定方式、技術基準方式ともに、T形接合部の場合、部分架構モデル、Ds算定時応力ともに、接合部検定比 V_{pu}/V_{mu} は鉛直方向せん断力で決定した。
- 3) 技術基準方式のL形接合部の場合、部分架構モデル、Ds算定時応力ともに、接合部検定比 V_{pu}/V_{mu} は水平方向せん断力で決定するとしている。
(T形接合部の計算値に関する注記) T形接合部の場合、T_{gy'} の欄には、下柱主筋の等価上限引張力T_{eye}の計算値を示す。

2.2 A通架構 2,3階ト形接合部

桁行架構では、1階と2階の柱断面は、それらが接続する十字形接合部せん断力によって決定した。これらより、A通架構 2,3階ト形接合部のせん断検定結果(左加力)を表2に示す。同表によると、

- 1) 性能検定方式、技術基準方式ともに、Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は部分架構モデルの 0.9~1.0 倍程度 (3階 A-1通、A-7通、2階 A-1通) か、1.1 倍程度 (2階 A-7通) である。
- 2) 性能検定方式のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) は、部分架構モデルでは技術基準方式の 1.05 倍程度、Ds 算定時応力では技術基準方式の 1.1 倍程度である。

A通架構 2,3階ト形接合部の場合、性能検定方式、技術基準方式ともに、部分架構モデルと Ds 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) の差異は、Ds 算定時に 3~10階梁端部に降伏ヒンジが形成されるため、最上階 T形、L形接合部の場合に比べて小さい。

表2 SABTEC 機械式定着プログラムによる接合部せん断検定結果(左加力)
—A通架構 2,3階のト形接合部—

階	通	種別	性能検定方式										技術基準方式									
			部分架構モデル					Ds算定時応力					部分架構モデル					Ds算定時応力				
			Tgy (kN)	Tgy' (kN)	Qcu (kN)	Vmu (kN)	Vpu /Vmu	Tgy (kN)	Tgy' (kN)	Qcu (kN)	Vmu (kN)	Vpu /Vmu	Tgy (kN)	Tgy' (kN)	Qcu (kN)	Vmu (kN)	Vpu /Vmu	Tgy (kN)	Tgy' (kN)	Qcu (kN)	Vmu (kN)	Vpu /Vmu
3階	A-1通	ト形	0	5139	1267	3872	1.18	0	5747	1355	4392	1.04	0	4469	1102	3367	1.23	0	4997	1335	3642	1.14
	A-7通	ト形	5626	0	1387	4239	1.08	6034	0	1338	4696	0.97	4881	0	1203	3677	1.13	5247	0	1338	3909	1.06
2階	A-1通	ト形	0	5139	1284	3855	1.18	0	5591	1451	4140	1.10	0	4469	1117	3352	1.24	0	4862	1451	3411	1.22
	A-7通	ト形	5626	0	1406	4220	1.08	5398	0	1478	3919	1.16	4881	0	1220	3661	1.13	4694	0	1478	3215	1.29

3. BUILD. 一貫IV+による接合部せん断検定

3.1 接合部せん断検定方法

BUILD. 一貫IV+の接合部検定プログラム(技術基準)では、以下のように、技術基準解説書に従い、梁降伏型と柱降伏型の接合部設計用せん断力 Q_{DjU} を算定できる。

(1) 梁降伏型の場合 (${}_G M_{MR} + {}_G M_{ML} \leq {}_C M_{MB} + {}_C M_{MT}$)

梁降伏型の接合部設計用せん断力 Q_{DjU} は、下式による(図5)。

$$Q_{DjU} = \alpha \cdot \{TU + (CsU' + CcU') - Q_{cU}\} = \alpha \cdot \{TU + TU' - Q_{cU}\} \quad (1)$$

α : 応力割増係数(許容応力度計算データ[DES5]、保有水平耐力計算データ[CAL1])
[デフォルト=1.1]

TU : 梁端に生じる引張力(=Mb/j)、Mb : 梁端部の曲げ終局強度、j : 応力中心間距離

CsU' : 梁主筋に生じる圧縮力、CcU' : 梁コンクリートに生じる圧縮力

TU' : 他方の梁端に生じる引張力(=Mb'/j')、ト形接合部では TU'=0

Mb' : 他方の梁端部の曲げ終局耐力、j' : 他方の応力中心間距離

QcU : 接合部上下柱のメカニズム時せん断力の平均値

保有水平耐力計算時には、入力指定(保有水平耐力計算データ[CAL3])により、TU, TU'の算定に用いる Mb を梁曲げ終局耐力ではなく、メカニズム(Ds 算定)時曲げモーメントとすることができる。

また、入力指定(保有水平耐力計算データ[CAL4])により、QcU を上下柱の平均モーメント勾配を用いて、左右梁端での曲げ終局耐力時の梁端モーメントの釣合いを考慮した下式より求めることができる(Mb をメカニズム(Ds 算定)時曲げモーメントとしている時には使えない。また、上下柱のせん断耐力の平均値の方が小さい場合はそちらの値を採用する)。

$$Q_{cU} = 2(Mb \cdot lb/L + Mb' \cdot lb'/L') / (hc + hc') \quad (2)$$

lb : 梁スパン長(節点間距離)、lb' : 他方の梁スパン長(節点間距離)

L : 梁内法長さ、L' : 他方の梁内法長さ

hc : 接合部上部の階高(節点間距離)、hc' : 接合部下部の階高(節点間距離)

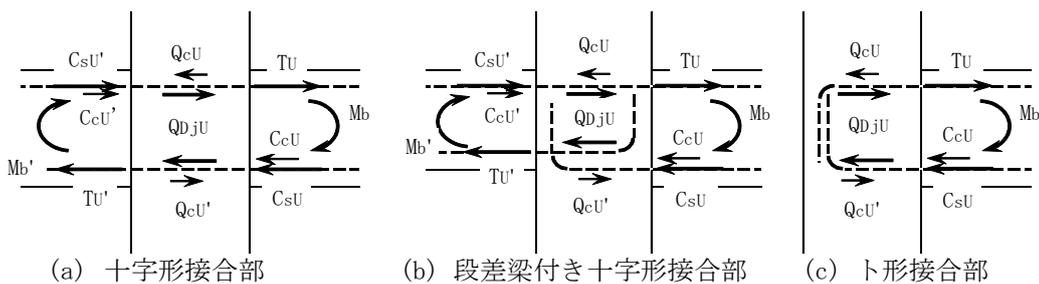


図5 梁降伏型柱梁接合部のメカニズム時設計用せん断力

(2) 柱降伏型の場合 (${}_G M_{MR} + {}_G M_{ML} > {}_C M_{MB} + {}_C M_{MT}$)

柱降伏型の接合部設計用せん断力 Q_{DjU} は、下式による。

$$Q_{DjU} = v Q_{DjU} \cdot D / Db \quad (3)$$

$$v Q_{DjU} = \alpha \cdot \{TU + (CsU' + CcU') - Q_{bU}\} = \alpha \cdot \{TU + TU' - Q_{bU}\} \quad (4)$$

α : 応力割増係数(許容応力度計算データ[DES5]、保有水平耐力計算データ[CAL1])
[デフォルト=1.1]

TU : 柱端に生じる引張力(=Mc/j)、Mc : 柱端部の曲げ終局耐力、j : 応力中心間距離

C_{sU}' : 柱主筋に生じる圧縮力、 C_{cU}' : 柱コンクリートに生じる圧縮力

T_{U}' : 他方の柱端に生じる引張力(= M_{cU}'/j')、T形接合部では $T_{U}'=0$

Q_{bU} : 接合部左右の梁のメカニズム時せん断力の平均値

v_{QDjU} : 鉛直せん断力、 D_b : 梁せい、 D : 柱せい

保有水平耐力計算時には、入力指定(保有水平耐力計算データ[CAL3])により、 T_U, T_{U}' の算定に用いる M_c を柱曲げ終局耐力ではなく、メカニズム(D_s 算定)時曲げモーメントとすることができる。

また、入力指定(保有水平耐力計算データ[CAL4])により、 Q_{bU} を左右梁の平均モーメント勾配を用いて、上下柱端での曲げ終局耐力時の柱端モーメントの釣合いを考慮した下式より求めることができる(M_c をメカニズム(D_s 算定)時曲げモーメントとしている時には使えない。また、左右梁のせん断耐力の平均値の方が小さい場合はそちらの値を採用する)。

$$Q_{cU} = 2(M_c \cdot hc/H + M_{cU}' \cdot hc'/H') / (l_b + l_b') \quad (5)$$

hc : 接合部上部の階高(節点間距離)、 hc' : 接合部下部の階高(節点間距離)

H : 接合部上部の内法長さ、 H' : 接合部下部の内法長さ

l_b : 梁スパン長(節点間距離)、 l_b' : 他方の梁スパン長(節点間距離)

以上のように、BUILD. 一貫IV+の接合部検定プログラム(技術基準)では、梁降伏型、柱降伏型ともに、それぞれ下記の3通りの方法によって、接合部せん断検定を行うことができる。

- ①メカニズム時柱または梁せん断力(Q_{cU}, Q_{bU})を用いる場合(デフォルトの場合)
- ② D_s 算定時曲げモーメントより求めた主筋引張力 T_U, T_{U}' を用いる場合([CAL3]を用いる場合)
- ③終局時釣合い式より求めた柱せん断力 Q_{cU} を用いる場合([CAL4]を用いる場合)

(3) 接合部せん断終局耐力

接合部せん断終局耐力 V_{ju} は、下式による(図6)。

$$V_{ju} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_j \quad (6)$$

κ_u : 柱梁接合部の形状係数

十字形接合部 : $\kappa_u=1.0$ 、ト形、T形接合部 : $\kappa_u=0.7$ 、L形接合部 : $\kappa_u=0.4$

ϕ : 直交梁の有無による補正係数

両側直交梁付き接合部の場合 : $\phi=1.0$ 、それ以外の場合 : $\phi=0.85$

$F_j = 0.8F_c^{0.7}$: 接合部基準せん断強度 (N/mm^2)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)

$b_j = B_g + ba_1 + ba_2$ 、ただし、 $B_g \geq B_c$ の場合、 $b_j = B_c$ とする。

ba_i : $b_i/2$ または $D_c/4$ の小さい方 ($i=1, 2$)

b_i : 梁両側面から平行する柱側面までの長さ、 B_g : 梁幅、 D_c : 柱せい、 B_c : 柱幅

D_j : 接合部有効せい (柱せいまたは 90° 折曲げ筋の水平投影定着長さ $= \alpha \cdot D_c$)

$\alpha=1.0$: 十字形接合部

$\alpha=0.7$: ト形接合部 (保有水平耐力計算[CAL1]で変更可能)

(許容応力度計算時に検討を行う場合は 0.75 固定)

上記のように、BUILD. 一貫IV+の接合部検定プログラム(技術基準)によると、ト形接合部では、 α の値によって梁主筋定着長さを考慮できる。しかし、T形接合部では、柱主筋定着長さを考慮できないので、せん断終局耐力を過大評価する恐れがある。

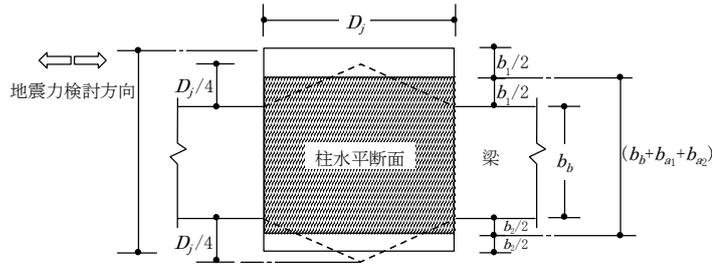


図6 柱梁接合部の有効幅 b_j

3.2 接合部せん断検定結果

(1) 最上階L形、T形接合部

A通架構最上階L形、T形接合部のせん断検定結果を表3に示す。同表によると、

- 1) A-7通L形接合部の①デフォルトのせん断検定比(V_{ju}/Q_{dju})は、②の0.6倍程度、③の0.5倍程度であり、②、③のせん断検定比よりも著しく小さい。

メカニズム(D_s 算定)時柱せん断力 Q_{cu} は、①デフォルトでは柱曲げ耐力時せん断力(③の Q_{cu})の0.2倍程度であり、その結果、①デフォルトの接合部設計用せん断力 Q_{dju} が②、③よりも大きくなり、これに伴い、①デフォルトのせん断検定比(V_{ju}/Q_{dju})の方が著しく小さくなったと考えられる。

また、②のメカニズム(D_s 算定)時梁主筋引張力 T_u は引張耐力(①の T_{cu})よりも小さく、この点も、①デフォルトのせん断検定比(V_{ju}/Q_{dju})の方が小さくなった原因として挙げられる。

- 2) A-1通L形接合部の場合、①デフォルトのせん断検定比(V_{ju}/Q_{dju})は、②の0.9倍程度、③の0.5程度であり、②、③のせん断検定比よりも著しく小さい。
- 3) A-2通T形接合部の場合、①デフォルトの検定比(V_{ju}/Q_{dju})は、②の0.6倍程度、③の0.9程度であり、②、③のせん断検定比よりも著しく小さい。
- 4) A-1通L形接合部の①の検定比と②、③のせん断検定比の差異、およびA-2通T形接合部の①の検定比と②、③のせん断検定比の差異の大小関係が逆転する。

以上のように、BUILD.一貫IV+(技術基準)によると、最上階L形、T形接合部の場合、①のせん断検定比は②、③よりも著しく小さい。また、表1のSABTEC機械式定着プログラムによる検定結果と比べると、②ではT形接合部、③ではL形接合部の場合、せん断検定比が過大評価となるので、①~③のいずれの方法を選定すべきかの判断が難しい。

表3 BUILD.一貫IV+(技術基準)による接合部せん断検定結果(左加力)
-A通架構最上階L形、T形接合部-

階	通	種別	①の場合(デフォルト)					②の場合(CAL3)					③の場合(CAL4)				
			T_u (kN)	T_u' (kN)	Q_{cu} (kN)	Q_{dju} (kN)	V_{ju} / Q_{dju}	T_u (kN)	T_u' (kN)	Q_{cu} (kN)	Q_{dju} (kN)	V_{ju} / Q_{dju}	T_u (kN)	T_u' (kN)	Q_{cu} (kN)	Q_{dju} (kN)	V_{ju} / Q_{dju}
R階	A-1通	L形	0	850	117	806	1.59	0	766	117	713	1.80	0	850	455	435	2.95
	A-2通	T形	0	1564	145	1836	1.63	0	1032	145	1147	2.60	0	1564	225	1733	1.72
	A-7通	L形	1274	0	105	1285	1.00	796	0	105	760	1.69	1274	0	655	681	1.88

【記号】 T_u, T_u' : 左右梁引張主筋の引張耐力または D_s 算定時引張力、 Q_{cu} : メカニズム時または D_s 算定時の柱せん断力または梁せん断力

Q_{dju} : 接合部設計用せん断力、 V_{ju} : 接合部せん断終局耐力

(接合部検定比 V_{ju}/Q_{dju} に関する注記)

1) L形接合部の場合、①、②、③ともに、接合部検定比 V_{ju}/Q_{dju} は水平方向せん断力で決定した。

2) T形接合部の場合、①、②、③ともに、接合部検定比 V_{ju}/Q_{dju} は鉛直方向せん断力で決定した。

(T形接合部の計算値に関する注記) T形接合部の場合、 T_u' の欄には、下柱曲げ耐力から算定した柱引張力の計算値を示す。

(2) A 通架構 2, 3 階ト形、十字形接合部

A 通架構 2, 3 階ト形、十字形接合部のせん断検定結果を表 4 に示す。同表によると、各接合部のせん断検定比 (V_{ju}/Q_{dju}) における①、②、③の方法による差異は、最上階 L 形、T 形接合部に比べて小さい。すなわち、 D_s 算定時には、3~10 階梁端部に降伏ヒンジが形成されるため、2, 3 階ト形、十字形接合部のせん断検定は、いずれの方法によってもよいと考えられる。

表 4 BUILD. 一貫IV+(技術基準)による接合部せん断検定結果(左加力)
—A 通架構 2, 3 階ト形、十字形接合部—

階	通	種別	①の場合(デフォルト)					②の場合(CAL3)					③の場合(CAL4)				
			Tu (kN)	Tu' (kN)	QcU (kN)	Qdju (kN)	Vju /Qdju	Tu (kN)	Tu' (kN)	QcU (kN)	Qdju (kN)	Vju /Qdju	Tu (kN)	Tu' (kN)	QcU (kN)	Qdju (kN)	Vju /Qdju
3階	A-1通	ト形	0	4596	1355	3566	1.28	0	4598	1355	3567	1.28	0	4596	1232	3701	1.23
	A-2通	十字形	5595	4596	2511	8449	1.03	5595	4597	2511	8449	1.03	5595	4596	2599	8352	1.04
	A-7通	ト形	5020	0	1338	4051	1.13	5021	0	1338	4052	1.13	5020	0	1294	4100	1.11
2階	A-1通	ト形	0	4596	1451	3460	1.32	0	4597	1451	3460	1.32	0	4596	1215	3720	1.23
	A-2通	十字形	5596	4596	2617	8332	1.04	4674	4312	2617	7006	1.24	5595	4596	2571	8382	1.04
	A-7通	ト形	5020	0	1478	3896	1.17	4595	0	1478	3428	1.33	5020	0	1282	4113	1.11

4. 接合部せん断検定結果のまとめ

(1) SABTEC 機械式定着プログラムの場合

- 1) 最上階 L 形、T 形接合部の場合、部分架構モデルと D_s 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) の差異は、性能検定方式と技術基準方式による差異に比べて大きい。

性能検定方式、技術基準方式ともに、部分架構モデルの場合、確定した崩壊型を用いているので、せん断検定比の計算値は、弾塑性解析の計算値に係わらず一定値となる。一方、 D_s 算定時応力の場合、せん断検定比の計算値は、弾塑性解析による D_s 算定時応力に左右されるので、部分架構モデルの計算値も考慮し、最上階 L 形、T 形接合部を設計することが望ましい。

- 2) 2, 3 階ト形接合部の場合、性能検定方式、技術基準方式ともに、部分架構モデルと D_s 算定時応力のせん断検定比 (V_{pu}/V_{mu}) の差異は、 D_s 算定時に 3~10 階梁端部に降伏ヒンジが形成されるため、最上階 T 形、L 形接合部の場合に比べて小さい。

(2) BUILD. 一貫IV+接合部検定プログラム(技術基準)の場合

- 1) BUILD. 一貫IV+の接合部検定プログラム(技術基準)によると、最上階 L 形、T 形接合部の場合、①のせん断検定比は②、③よりも著しく小さい。また、SABTEC 機械式定着プログラムによる検定結果と比べると、②では T 形接合部、③では L 形接合部の場合、せん断検定比が過大評価となるので、①~③のいずれの方法を選定すべきかの判断が難しい。
- 2) 2, 3 階ト形、十字形接合部の場合、せん断検定比 (V_{ju}/Q_{dju}) における①、②、③の方法による差異は、最上階 L 形、T 形接合部に比べて小さい。すなわち、 D_s 算定時には、3~10 階梁端部に降伏ヒンジが形成されるため、2, 3 階ト形、十字形接合部のせん断検定は、いずれの方法によってもよいと考えられる。