



Title	多数本ダボ型接合部のせん断性能における ダボ配置と先孔径の影響
Author(s)	澤田, 圭; Sawata, Kei
Citation	北海道大学演習林研究報告, 67(1), 35-49
Issue Date	2010
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/44433
Type	departmental bulletin paper
File Information	67-1-5.pdf



多数本ダボ型接合部のせん断性能における ダボ配置と先孔径の影響

澤田 圭*

Effect of arrangement of dowel and pre-drilled hole diameter for
shear performance of multiple dowel type joints

by

SAWATA, Kei*

要 旨

本研究では、ダボ型接合部のダボの本数、配置および先孔径が、接合部のせん断性能に及ぼす影響を調べた。接合部は鋼種 SS400、直径 12mm の棒鋼と厚さ 30mm のスプルー製材を用いた鋼板添え板 2 面せん断型とし、接合部に用いたダボの本数は 1~4 本、ダボの配置は 7 パターン、先孔径は 4 種類とした。ダボ型接合部に対して一方向単調加力試験または正負繰り返し加力試験を行った。

先孔がダボと同径の場合、ダボの本数が増えると降伏荷重、最大荷重、終局荷重は増加するが、その増加量はダボの本数や配置によって異なった。ダボの本数にほぼ比例して増加したのは最大荷重であった。初期剛性と吸収エネルギーは本数が増えても値に大きな変化がみられない場合があった。

先孔径がダボ径より大きい接合部は先孔がダボと同径の接合部と比べて、初期剛性は低く、降伏変位、最大荷重時変位、終局変位、吸収エネルギーは大きな値となる傾向を示した。先孔径に対するダボ径の比が 1.00~1.25 の範囲にあるとき、接合部の降伏荷重および最大荷重に及ぼす先孔の大きさの影響は、ダボを 1~2 本有する接合部ではみられなかったが、ダボを 3 本有する接合部では先孔が大きいほど各荷重は低い値を示した。

キーワード：荷重-変位曲線，初期剛性，せん断荷重，すべり変位，エネルギー

2010 年 3 月 9 日受付, Received March 9, 2010

2010 年 8 月 3 日受理, Accepted August 3, 2010

北海道大学大学院農学研究院木材工学研究室 * ksawata@for.agr.hokudai.ac.jp

Laboratory of Timber Engineering, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

1. はじめに

現在、木質構造物において機械的接合は一般的な接合法であり、その中でボルトやドリフトピンを用いたダボ型接合は住宅から大規模構造物まで広く利用されている。部材の寸法によってボルトやドリフトピンを 1 本用いる場合や、複数本用いる場合があり、中・大断面部材を使うとき、接合部は複数本の接合具で構成されることが多い。

複数本の接合具を用いたダボ型接合部のせん断耐力が、単位接合部のせん断耐力に接合具の本数を乗じた値より低くなることはよく知られており、これまでに複数本のボルトを用いた接合部の実験より、接合具の本数と接合部の初期剛性、降伏荷重および最大荷重の関係について報告がされている（田中 1993、Gattesco 2004）。そして、接合具の本数を考慮した低減係数の設計式がアメリカ（NDS 1997）や欧州（Eurocode5）の規準・規格にあり、我が国（木質構造設計規準 2006）では本数に応じた低減値の一覧表が採用されているが、本数によって 3 者の低減値は異なっている。

またダボ型接合部を現場施工する場合は、施工の容易さから接合具径よりも大きめに先孔を設けることがある。先孔の大きさは接合具が木材に接するまでの距離、つまり接合部が荷重を負担できるまでの変形量に影響する。この影響を調べるため、先孔がボルト接合部のせん断耐力に及ぼす影響について実験（有馬 1991、平野 1993）および数値解析（Hirai 1993）が行われてきた。

これまで接合具本数や先孔の影響については主に耐力について研究がなされてきたが、近年では構造物の評価として剛性、耐力、靱性を考慮した性能値が取り上げられることが多くなっている。そこで本研究では、ダボ型接合部を対象とし、ダボの本数、配置および先孔径がダボ型接合部の様々なせん断性能に及ぼす影響を調べた。

2. 試験体および試験方法

2.1 ダボ型接合部試験体

鋼板添え板 2 面せん断ダボ型接合試験体には長さ 420~656mm、幅 105~138mm、厚さ 30mm のスプルース（*Picea abies*）製材を用いた。木材を鋼板（厚さ 12mm、鋼種 SS400）ではさみ、径 12mm の棒鋼（鋼種 SS400）で接合した。

ダボの本数は 1~4 本で接合パターンは 7 種類とした。Fig. 1 にダボの配置パターンを示す。ここでは、ダボ 1 本の接合部を接合タイプ (1,1)、ダボを 1 列 2 行に配置した接合部を接合タイプ (1,2)、2 列 1 行に配置した接合部を接合タイプ (2,1)、1 列 3 行に配置した接合部を接合タイプ (1,3)、3 列 1 行に配置した接合部を接合タイプ (3,1)、2 列 2 行に配置した接合部を接合タイプ (2,2) と表す。日本建築学会の木質構造設計規準に準じ、端距離はダボ径の 7 倍 (84mm)、繊維方向のダボ間隔はダボ径の 7 倍 (84mm)、繊維直交方向のダボ間隔はダボ径の 3 倍 (36mm) とし、縁距離はダボ径の 2.75 倍以上とした。

先孔径はダボ径の 1.00 倍 (12mm)、1.08 倍 (13mm)、1.25 倍 (15mm)、1.50 倍 (18mm) の 4 種類とした。先孔位置の模式図を Fig. 2 に、全試験体の仕様を Table1 に示す。

Table 1. Summary of dowel type joints.

n_{pin}	Arrangement		d_{pre}/d	Loading type	Number of specimen
	Column	Line			
1	1	1	1.00	Monotonic	15
			1.00	Cyclic	3
			1.25	Monotonic	6
2	1	2	1.00	Monotonic	18
			1.00	Cyclic	3
			1.08	Monotonic	24
	2	1	1.25	Monotonic	24
			1.50	Monotonic	24
			1.00	Monotonic	3
3	1	3	1.00	Monotonic	21
			1.00	Cyclic	3
			1.25	Monotonic	18
	3	1	1.00	Monotonic	3
			1.00	Cyclic	3
			1.25	Monotonic	18
4	2	2	1.00	Monotonic	3
			1.00	Cyclic	2

n_{pin} , number of dowels; d_{pre} , diameter of pre-drilled hole; d , diameter of dowel

2.2 接合部せん断試験方法

ダボ型接合部せん断試験は繊維平行方向加力で行い、加力速度は 1mm/min.、加力方法は一方単調加力または正負繰り返し加力とした。正負繰り返し加力試験は一方単調加力試験から得られた降伏変位を用いて変位制御とした。繰り返しスケジ

ュールは木材と鋼板間の相対変位が降伏変位の 0.25 倍と 0.50 倍で正負 1 回ずつ繰り返した後、0.75 倍、1.0 倍、2.0 倍、4.0 倍、6.0 倍、8.0 倍、12.0 倍で正負 3 回ずつ繰り返した。試験は荷重が最大荷重の 0.5 倍以下まで低下した時点で終了とした。試験体の概観を Fig. 3 に示す。

3. 結果および考察

3.1 ダボ配置の影響

3.1.1 荷重—すべり変位曲線

一方向単調加力試験より、荷重が掛かり出して以降の荷重—すべり変位曲線の形状を比較するため、ここでは 0.2kN の荷重が掛かったときを原点にとった荷重—すべり変位曲線を求めた。Figs. 4~7 に破壊変位時までの荷重—すべり変位曲線を示す。ダボの数が等しくとも配置によって破壊変位は異なり、1 列にかつ多数本配置した方が脆性的な挙動を示している。

試験より得られた荷重—すべり変位曲線から初期剛性、降伏変位、降伏荷重、最大荷重時変位、最大荷重、終局変位、終局荷重、破壊するまでに吸収したエネルギーを算出した。各せん断性能値の評価方法を Fig. 8 に示す。

ダボ型接合部の降伏荷重の算定値には 5% オフセット値 (ASTM D5652 1995) が広く用いられている。しかし本実験より得られた荷重—すべり変位曲線では脆性破壊を起こすものが多かったため、5% オフセット値 (降伏点) が最大荷重以降に評価される場合があった。そこで本研究では、最大荷重の 0.1 倍と 0.4 倍の点を結んだ直線を第一直線とし、第一直線をダボ径の 2% 平行移動した直線と荷重—すべり変位曲線との交点より降伏荷重 (2% オフセット値) を求めた (Hwang 2002)。すべり変位の特性値に関しては初期ガタの影響を除くため、荷重—すべり変位曲線上の降伏荷重時、最大荷重時、最大荷重点を超え最大荷重の 0.8 倍荷重時の各すべり変位から第一直線と X 軸の交点を差し引いた値をそれぞれ降伏変位、最大荷重時変位、終局変位とした。初期剛性についても初期ガタの影響を除くため、第一直線と X 軸の交点と荷重—すべり変位曲線上の降伏荷重の点を直線で結び (Fig. 8 中の直線 I)、その直線の傾きを初期剛性とした。吸収エネルギーは荷重が最大荷重を超

えて最大荷重の 80% に達するまでに接合部が吸収したエネルギーとした。終局荷重は、直線 I、X 軸、Y 軸に平行で最大荷重の 0.8 倍の点を通る直線 (Fig. 8 中の直線 II)、X 軸に平行な直線 (Fig. 8 中の直線 III) で囲まれた面積が吸収エネルギーと等しくなるときの直線 III の切片から求めた。

なお、最大荷重以降に 2% オフセット値が算出された試験体については、接合部が降伏に達する前に破壊したと判断し、初期剛性、降伏変位、降伏荷重、終局荷重は算出していない。

3.1.2 せん断性能値

ダボ型接合部のせん断性能値を Table 2 に、ダボの配置に対するせん断性能値を Figs. 9~12 に示す。接合タイプ (3,1) および (2,2) は 3 体中 2 体の初期剛性、降伏変位、降伏荷重、終局荷重が得られなかったため、1 体の値のみ示している。

初期剛性は多数本ダボ型接合部の方が接合タイプ (1,1) より高い値を示しているが、接合タイプ (1,2) と (1,3) が近い値を示しており、ダボの本数が増えるに従い初期剛性も向上していくとは言えない。通常ダボを 1 列に配した場合、線形解析によれば各ダボに生じる力は一樣とならないため、多数本接合部のせん断力はダボ 1 本接合部のせん断力にダボの本数を乗じた値よりも低くなるのが知られている (Jorissen 1998)。接合部の変形が進み木材が非線形挙動を示すとこのメカニズムも変わってくるが、初期剛性に対応する変形レベルでは、個々のダボに生じた力は一樣でなかったと推測される。本研究では、ダボを数列に配した接合部でもその初期剛性はダボの本数と比例しなかった。しかしダボを数列に配した接合部の場合はデータ数が少ないため、具体的な検討を行うためには更なるデータの集積が求められる。

降伏変位は多数本ダボ型接合部の方が接合タイプ (1,1) より大きな値を示し、ダボの本数が等しくても 1 列に配置した接合部より複数列 1 行に配置した接合部の方が大きな降伏変位を示した。最大荷重時変位は接合タイプ間で顕著な差は見られなかった。終局変位は接合タイプ (1,1) および (3,1) が他の接合タイプよりも大きな値を示し、最大荷重時変位に対する終局変位の比をとると、接合タイプ (1,1) が 1.8、接合タイプ (3,1) が 1.6、

他の接合タイプは1.2であった。接合タイプ(2,1)、(3,1)および(2,2)は最大荷重以降、段階的に荷重が低下しており(Fig. 5~7)、これらのことから、接合タイプによって最大荷重に達して以降の荷重変形挙動に差が生じていることがみてとれる。

降伏荷重、最大荷重、終局荷重はいずれもダボの本数が増えるにつれて増加している。そこで

接合タイプ(1,1)にダボの本数を乗じた計算値と実験値の比較を行った。各値の分散分析の結果をTable 3に示す。降伏荷重の場合、ダボを1列に配した接合部(接合タイプ(1,2)および(1,3))の実験値は計算値の0.85~0.86倍の値を示し、ダボを1行に配した接合部(接合タイプ(2,1)および(3,1))は0.83~1.12倍の値を示した。計算値と

Table 2. Results of shear tests of dowel type joints.

n_{pin}	Arrangement		d_{pre}/d		Density (kg/m^3)	MC (%)	Ks (kN/mm)	Dy (mm)	Py (kN)	$Dmax$ (mm)	$Pmax$ (kN)	Du (mm)	Pu (kN)	Energy (kNmm)
	Column	Line												
1	1	1	1.00	Mean	464	12.4	9.86	1.08	10.4	2.21	10.9	4.00	8.39	38.2
				SD	43.0	1.58	1.86	0.195	1.39	1.79	1.33	2.00	1.93	21.1
	1	1	1.25	Mean	459	10.7	6.95	1.51	10.3	2.13	11.3	4.11	6.15	35.6
				SD	49.0	0.542	1.05	0.199	0.393	0.406	1.15	2.22	0.959	21.0
2	1	2	1.00	Mean	465	13.9	15.7	1.17	18.1	2.17	20.3	2.67	12.3	41.7
				SD	35.1	0.451	2.75	0.233	3.14	0.516	2.06	0.563	1.83	10.4
	1	2	1.08	Mean	466	13.5	11.8	1.58	18.2	2.91	20.9	3.34	13.3	51.7
				SD	32.0	0.389	2.90	0.385	3.99	0.511	2.24	0.492	2.96	11.1
	1	2	1.25	Mean	465	13.6	6.86	2.72	17.8	4.38	20.3	4.61	11.2	62.8
				SD	32.2	0.440	1.76	0.802	4.04	0.814	2.42	0.767	2.49	17.5
	1	2	1.50	Mean	460	13.6	8.98	1.37	12.4	3.98	19.6	4.40	7.83	58.1
				SD	34.6	0.538	2.05	0.442	4.85	0.723	2.95	0.850	1.61	14.0
	2	1	1.00	Mean	435	11.0	14.9	1.60	23.4	2.23	24.5	2.79	15.1	49.3
				SD	47.4	0.153	1.51	0.469	4.95	0.704	5.06	0.685	3.87	17.2
3	1	3	1.00	Mean	453	10.0	17.1	1.63	26.5	1.89	30.3	2.29	21.7	44.5
				SD	50.6	0.556	4.83	0.426	4.97	0.460	4.18	0.665	5.36	17.5
	1	3	1.25	Mean	453	10.0	9.36	1.99	17.8	3.19	21.9	3.73	15.3	53.9
				SD	48.3	0.629	3.88	0.706	7.99	0.869	7.44	1.08	4.88	24.9
	3	1	1.00	Mean	467	11.1	11.7	2.22	25.9	2.72	29.6	4.30	27.4	95.3
				SD	13.9	0.330	None	None	None	0.725	2.32	1.91	None	50.4
4	2	2	1.00	Mean	444	10.9	30.7	1.53	46.9	1.83	44.8	2.18	26.5	58.4
				SD	42.6	0.096	None	None	None	0.0964	6.36	0.109	None	15.0

n_{pin} , number of dowels; d_{pre} , diameter of pre-drilled hole; d , diameter of dowel; MC, moisture content; Ks , initial stiffness; Dy , yield slip; Py , yield load; $Dmax$, slip corresponding to maximum load; $Pmax$, maximum load; Du , ultimate slip; Pu , ultimate load; None, less than 3 data

Table 3. One-way analysis of variance between single dowel type joints and multiple dowel.

Comparison of drift-pinned joints		Py	$Pmax$	Pu
Joint type (1,1) \times 2	Joint type (1,2)	*	NS	*
Joint type (1,1) \times 2	Joint type (2,1)	NS	NS	NS
Joint type (1,1) \times 3	Joint type (1,3)	*	NS	NS
Joint type (1,1) \times 3	Joint type (3,1)	Failure	NS	Failure
Joint type (1,1) \times 4	Joint type (2,2)	Failure	NS	Failure

* significant at 95% confidence level; NS, not significant at 95% confidence level; Failure, calculated results from experience is less than 3

実験値は接合タイプ (2,1) の場合のみ有意水準 5% で差がみられなかった。最大荷重の場合、ダボを 1 列に配した接合部は計算値に対して 0.93 倍、ダボを 1 行に配した接合部は 0.91~1.12 倍の値を示し、いずれの接合部でも有意水準 5% で差がみられなかった。終局荷重の場合、ダボを 1 列に配した接合部は 0.74~0.86 倍、ダボを 1 行に配した接合部は 0.90~1.09 倍の値を示し、接合タイプ (2,1) および (1,3) のとき有意水準 5% で差がみられなかった。接合タイプ (2,2) は接合タイプ (1,1) に 4 を乗じた値と比べて降伏荷重は 1.12 倍、最大荷重は 1.03 倍、終局荷重は 0.79 倍の値を示した。ダボの配置の影響は降伏荷重および終局荷重において現れやすく、最大荷重において小さかった。

吸収エネルギーは、接合タイプ (1,1)、(1,2)、(1,3) 間で大きな差はなく、接合タイプ (3,1) が最も大きな値を示した。ダボを 1 列に配する場合、ダボの本数が増えても接合部の吸収エネルギーには大きく寄与しないことが示唆された。

3.1.3 履歴曲線とエネルギー比

正負繰り返し加力試験から得られた履歴曲線を Figs. 13~16 に示す。ダボを 1 列に配した接合部は脆性的な荷重低下を示している。

繰り返しサイクル 2 回目および 3 回目の履歴ループの面積から吸収エネルギーを求め、吸収エネルギーを各ループのポテンシャルエネルギー（原点と各ループのピーク荷重点を結んだ直線、ピーク荷重点から X 軸に下ろした垂線、そして X 軸で囲まれた面積）で除してエネルギー比を算出した。エネルギー比の評価法を Fig. 17 に示す。

エネルギー比と履歴ループのピーク荷重時変位との関係を Fig. 18 に示す。エネルギー比は 0.02~0.26 の値をとり、接合形式によってエネルギー

比とピーク荷重時変位の関係に傾向はみられなかった。

3.2 先孔径の影響

3.2.1 荷重-すべり変位曲線

先孔径が異なるダボ型接合部の荷重-すべり変位曲線 (Figs. 4~7) より、ダボ 1 本からなる接合部の場合、先孔径/ダボ径比が 1.00 と 1.25 の接合部の荷重-すべり変位曲線は似た形状を示した。ダボ 2 本および 3 本からなる接合部の場合、先孔径/ダボ径比が大きいほど、最大荷重まで階段状に荷重が増加する接合部が多くみられる。試験より得られた荷重-すべり変位曲線から初期剛性、降伏変位、降伏荷重、最大荷重時変位、最大荷重、終局変位、終局荷重、破壊するまでに吸収したエネルギーを算出した。

3.2.2 せん断性能値

ダボ型接合部のせん断性能値の算出結果を Table 2 に、先孔径/ダボ径比に対するせん断性能値を Figs. 19~22 に示す。先孔径/ダボ径比が 1.00 の実験値に対する分散分析の結果を Table 4 に示す。

初期剛性は先孔径/ダボ径比が大きいと低下する傾向を示した。この理由として、先孔の大きさによって先孔とダボの接触面積が加力初期には異なったこと、ダボを 2 本以上有する接合部では先孔の位置によって木材に接触しているダボと接触していないダボが 1 つの接合部内に存在したことが考えられる。しかし、ダボ 2 本で先孔径/ダボ径比 1.50 の接合部の初期剛性は先孔径/ダボ径比 1.25 の場合よりも大きな値を示しており、この理由は不明である。

ダボ 1 本の接合部では、先孔径/ダボ径比が変

Table 4. One-way analysis of variance between dowel type joints with no clearance and with clearance.

n_{pin}	Comparison of drift-pinned joints		K_s	D_y	P_y	D_{max}	P_{max}	D_u	P_u	Energy
1	Joint with $d_{pre}/d=1.00$	Joint with $d_{pre}/d=1.25$	*	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
2	Joint with $d_{pre}/d=1.00$	Joint with $d_{pre}/d=1.08$	*	*	NS	*	NS	*	NS	*
	Joint with $d_{pre}/d=1.00$	Joint with $d_{pre}/d=1.25$	*	*	NS	*	NS	*	NS	*
	Joint with $d_{pre}/d=1.00$	Joint with $d_{pre}/d=1.50$	*	NS	*	*	NS	*	*	*
3	Joint with $d_{pre}/d=1.00$	Joint with $d_{pre}/d=1.25$	*	NS	*	*	*	*	*	NS

* significant at 95% confidence level; NS, not significant at 95% confidence level

わると降伏変位は変化したが、最大荷重時変位と終局変位は有意水準 5% で差がみられなかった。多数本ダボ型接合部では、先孔径/ダボ径比 1.00 から 1.25 に掛けて、先孔径/ダボ径比が大きくなるにつれの降伏変位、最大荷重時変位、終局変位は増加している。

荷重値についてみると、ダボ 1 本の接合部では降伏荷重および最大荷重で有意差がみられず、終局荷重において差が生じた。ダボを 2 本有する接合部では、降伏荷重と終局荷重は先孔径/ダボ径比 1.00 から 1.25 に掛けて、最大荷重は先孔径/ダボ径比 1.00 から 1.50 に掛けて有意差がみられなかった。ダボを 3 本有する接合部では、先孔径/ダボ径比が大きくなると降伏荷重、最大荷重、終局荷重は低下した。

吸収エネルギーの変動係数は 21~59% であり、全体的にばらつきが大きい。ダボ 1 本の接合部では先孔径/ダボ径比の違いによる有意差はみられず、ダボ 2 本を有する接合部では先孔径/ダボ径比が大きくなるにつれ吸収エネルギーも大きくなる傾向を示した。ダボ 3 本を有する接合部では有意差はみられなかったものの、先孔径/ダボ径比が大きい方が吸収エネルギーの平均値は大きい。

4. 結論

本研究では、ダボの本数、配置および先孔径がダボ型接合部のせん断性能に与える影響を調べ、ダボ径 12mm、主材厚 30mm のダボ型接合部について以下の結論を得た。

- (1) ダボの本数が増えると降伏荷重、最大荷重、終局荷重は増加するが、その増加量はダボの本数や配置によって異なり、本数に概ね比例したのは最大荷重であった。初期剛性および吸収エネルギーは本数が増えても値に大きな変化がみられない場合があった。
- (2) ダボの本数や配置は最大荷重に達して以降の荷重変形挙動に影響を及ぼした。
- (3) ダボを 2~3 本有する接合部において、先孔径に対するダボ径の比が大きくなると初期剛性は低下し、降伏変位、最大荷重時変位、終局変位、吸収エネルギーは増加する傾向を示した。
- (4) 先孔径に対するダボ径の比が 1.00~1.25 のとき、接合部の降伏荷重および最大荷重に及ぼす先

孔の大きさの影響は、ダボを 1~2 本有する接合部ではみられなかったが、ダボを 3 本有する接合部では先孔径が大きいほど降伏荷重、最大荷重は低い値を示した。

引用文献

- 有馬孝礼 (1991) : 木質接合部の“あそび”の評価. 日本建築学会梗概集 構造 II, 81-82.
- ASTM D5652 (1995) : Standard test methods for bolted connections in wood and wood-based products. Annual Book of ASTM Standards.
- Eurocode5 (1995) : Design of Timber Structures. Part 1.1 General rules and rules for buildings, Draft.
- Gattesco N and Toffolo I (2004) : Experimental study on multiple-bolt steel-to-timber tension joints. Materials and Structures 37, 129-138.
- Jorissen AJM (1998) : Double shear timber connections with dowel type fasteners. Doctor's dissertation, The Delft University of Technology, The Netherlands.
- 日本建築学会 (2006) : 木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—, 日本建築学会編, 239-256.
- Hirai T (1993) : A Monte Carlo simulation of the effective lateral resistance of multiple bolted timber joints with lead hole clearances subjected to axial forces. Mokuzai Gakkaishi 39(9), 1027-1035.
- 平野晋・浅野芳伸・前歯知之 (1993) : 接合治具のあそびを考慮した接合剛性に関する研究. 日本建築学会梗概集 構造 II, 959-960.
- Hwang K and Komatsu K (2002) : Bearing properties of engineered wood products I: effects of dowel diameter and loading direction. Journal of Wood Science 48: 295-301.
- NDS (1997) : National Design Specification for wood construction, National Forest Products Association, 41-49.
- 田中宏明・笹川明・五十田博 (1993) : 木質構造の接合部に関する研究. 日本建築学会梗概集 構造 II, 939-940.

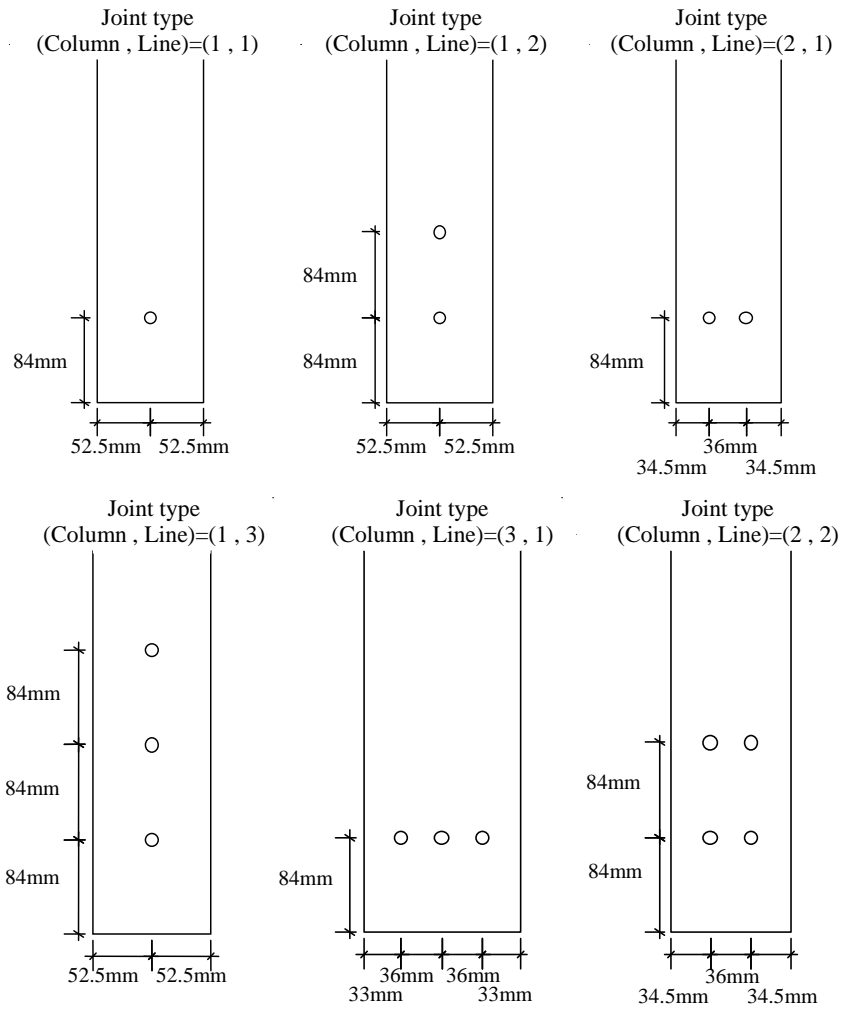


Fig. 1. Arrangement of dowel.

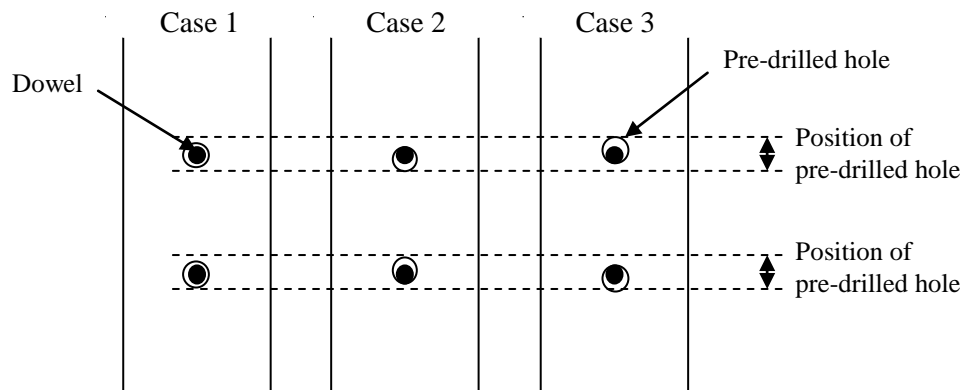


Fig. 2. Configuration of dowel type joints with clearance.

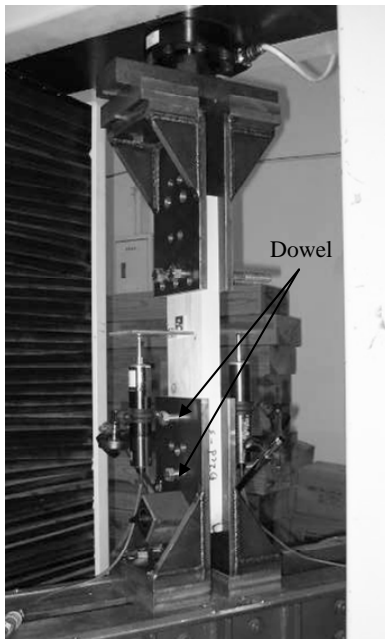


Fig. 3. Configuration of shear test of dowel type joint.

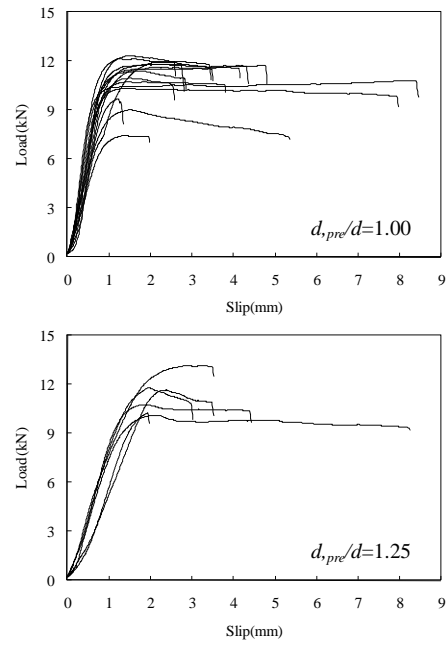


Fig. 4. Load-slip curve of joints with 1 dowel. d_{pre} , diameter of pre-drilled hole; d , diameter of dowel.

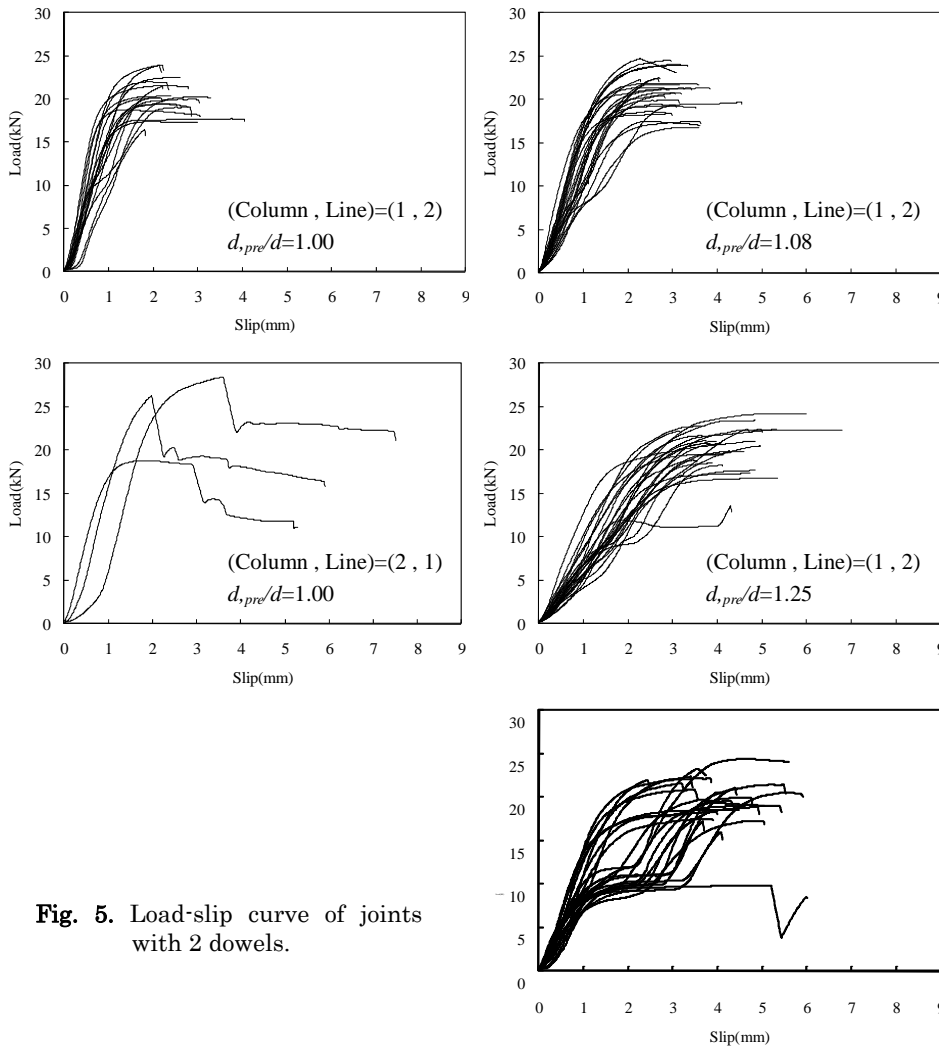


Fig. 5. Load-slip curve of joints with 2 dowels.

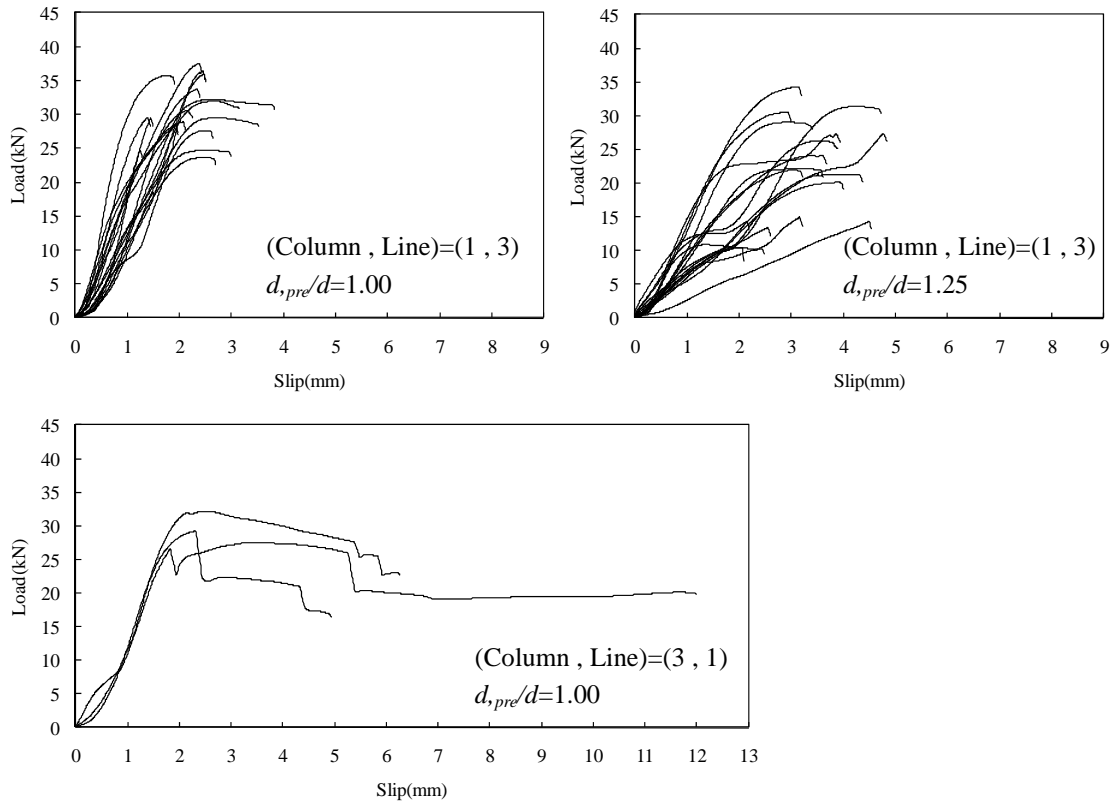


Fig. 6. Load-slip curve of joints with 3 dowels.

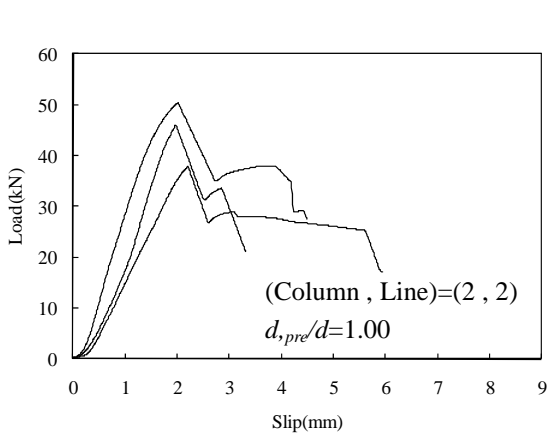


Fig. 7. Load-slip curve of joints with 4 dowels.

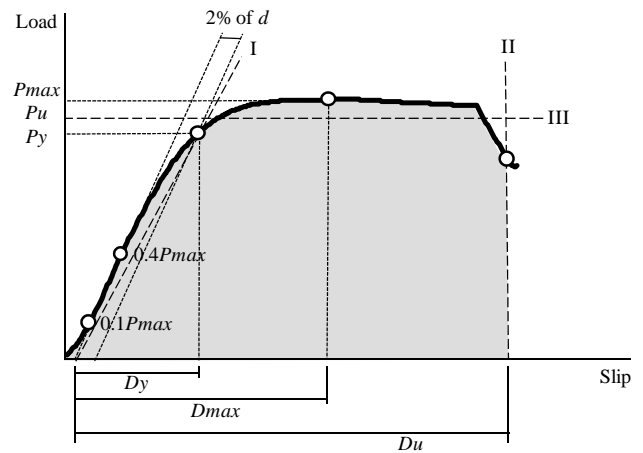


Fig. 8. Method of evaluating shear performances of dowel type joints.

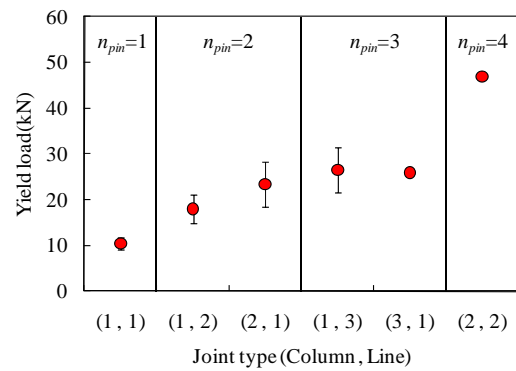
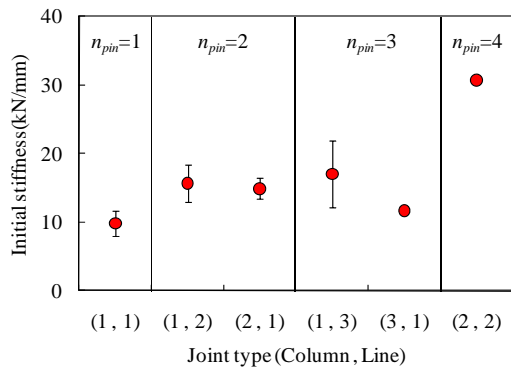


Fig. 9. Comparison of initial stiffness of dowel type joints and arrangement of dowels. Symbols and bars denote the mean value and standard deviations, respectively.

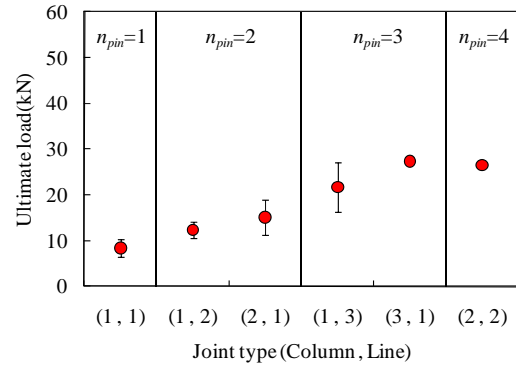
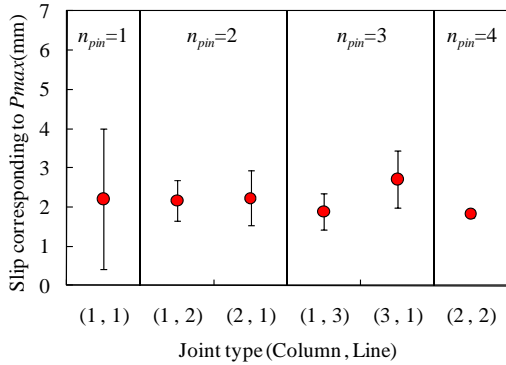
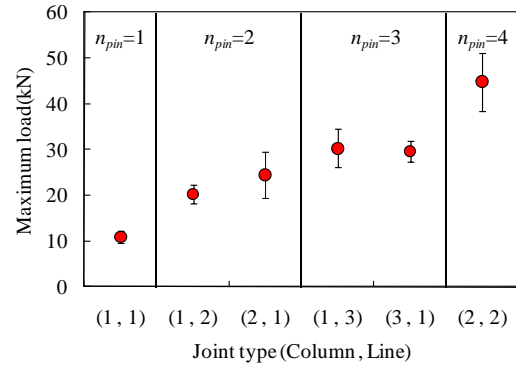
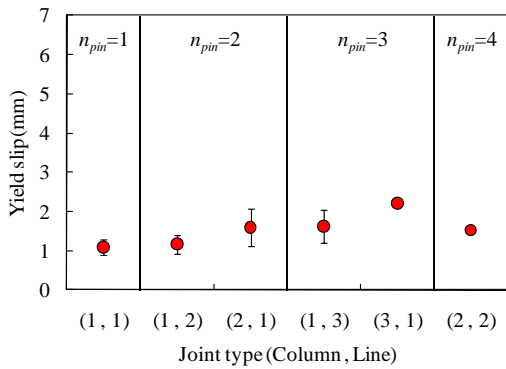


Fig. 11. Comparison of yield load, maximum load and ultimate load of dowel type joints and arrangement of dowels.

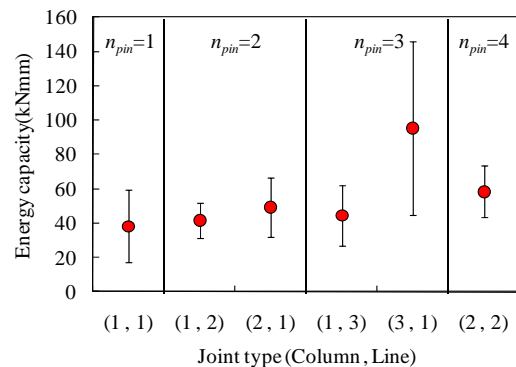
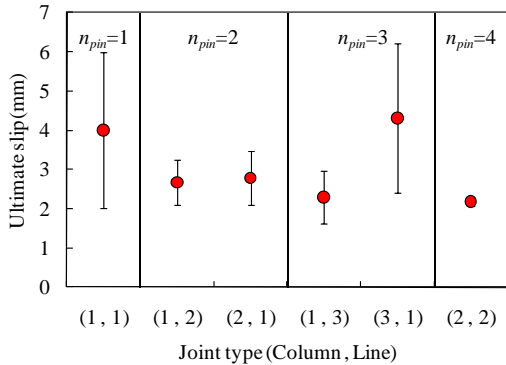


Fig. 10. Comparison of yield slip, slip corresponding to maximum load and ultimate slip of dowel type joints and arrangement of dowels.

Fig. 12. Comparison of energy capacity of dowel type joints and arrangement of dowels.

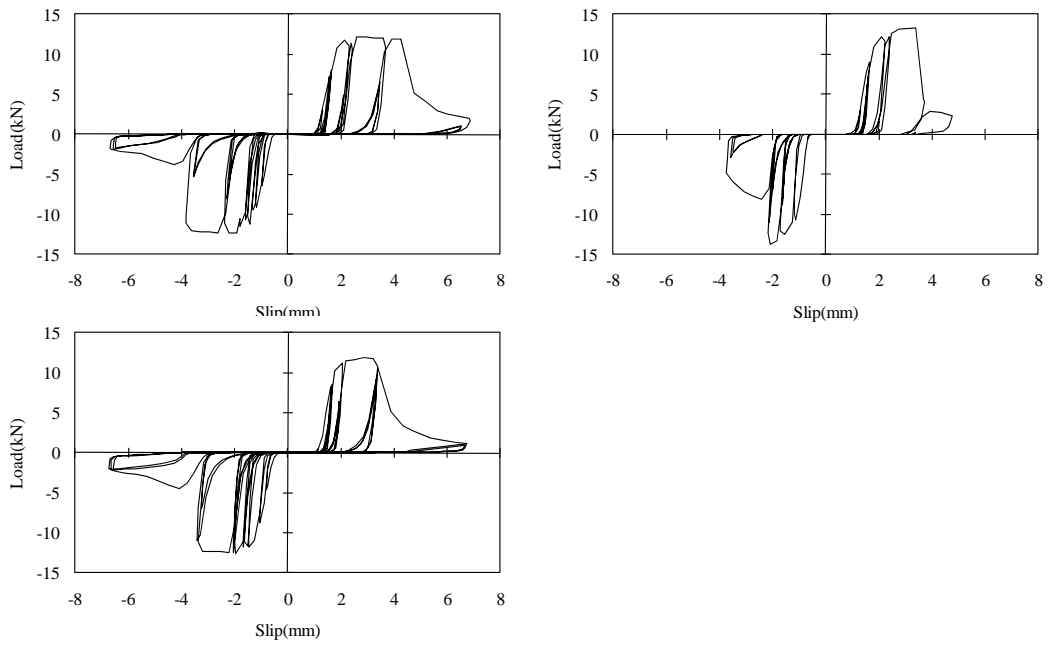


Fig. 13. Load-slip curve of joints with 1 dowel obtained from cyclic tests.

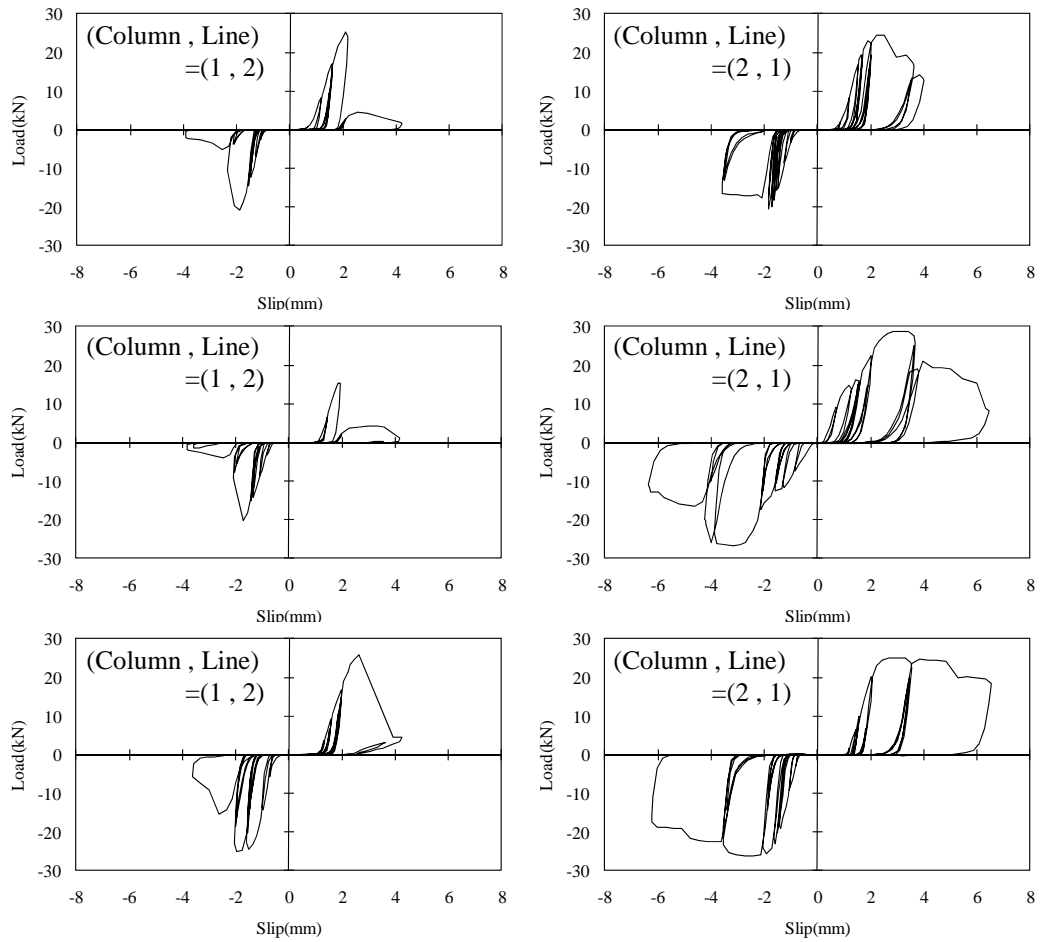


Fig. 14. Load-slip curve of joints with 2 dowels obtained from cyclic tests.

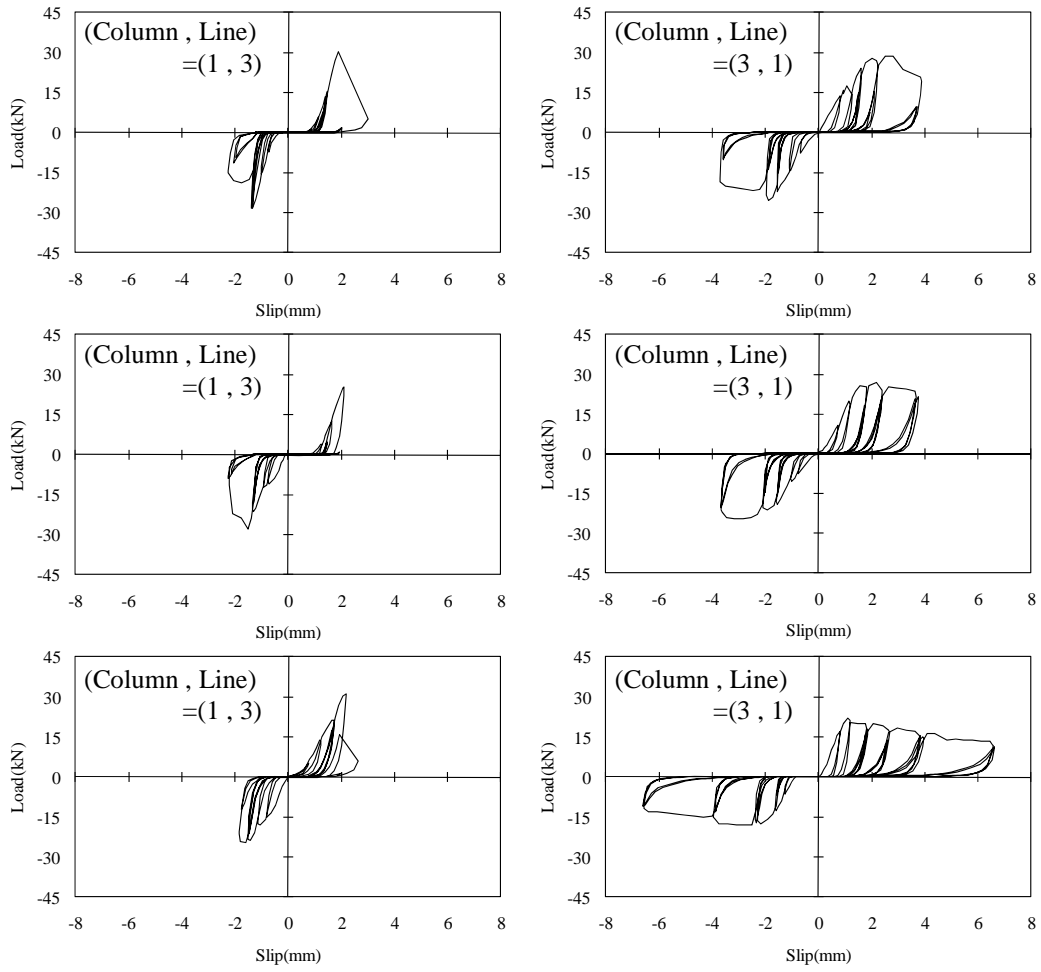


Fig. 15. Load-slip curve of joints with 3 dowels obtained from cyclic tests.

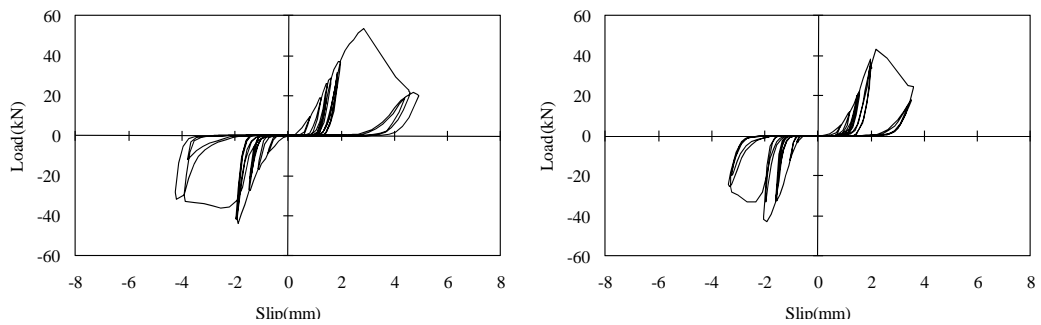


Fig. 16. Load-slip curve of joints with 4 dowels obtained from cyclic tests.

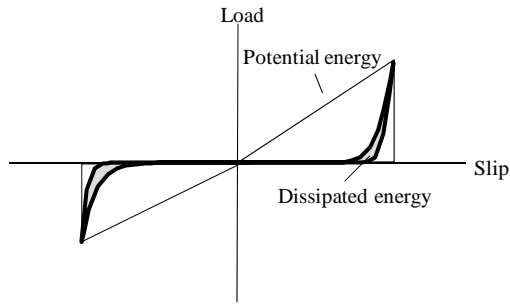


Fig. 17. Method of evaluating energy ratio obtained from hysteresis loop.

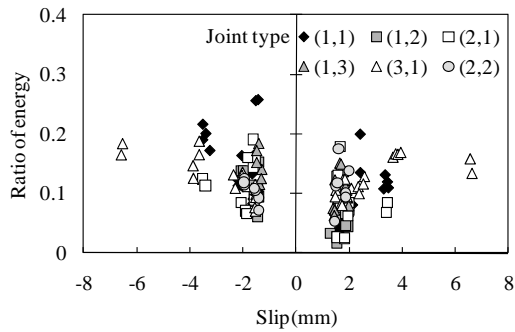


Fig. 18. Relations between ratio of energy and slip corresponding to peak load of hysteresis loop.

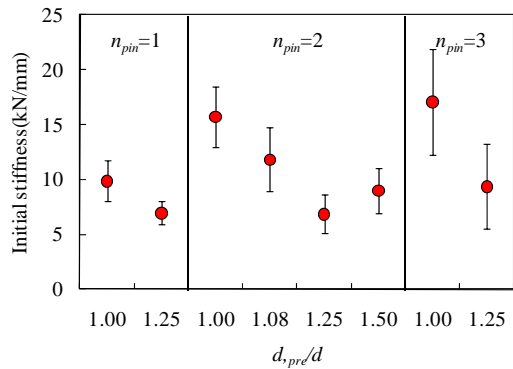


Fig. 19. Comparison of initial stiffness of dowel type joints and ratio of predrilled hole diameter to dowel diameter.

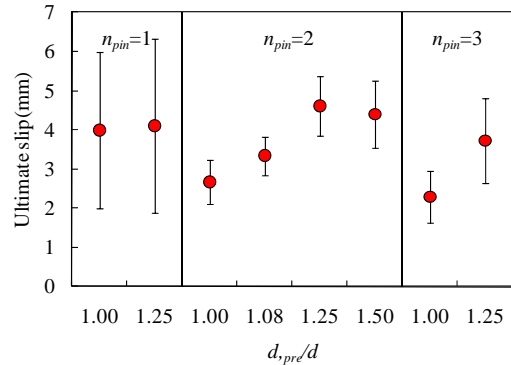
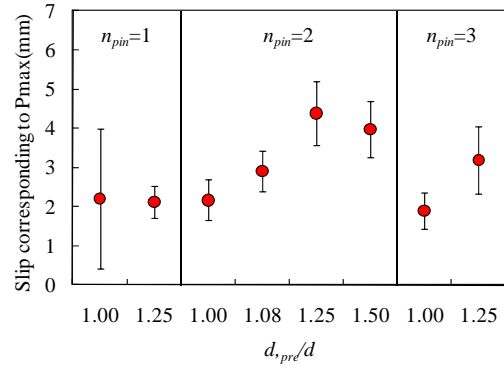
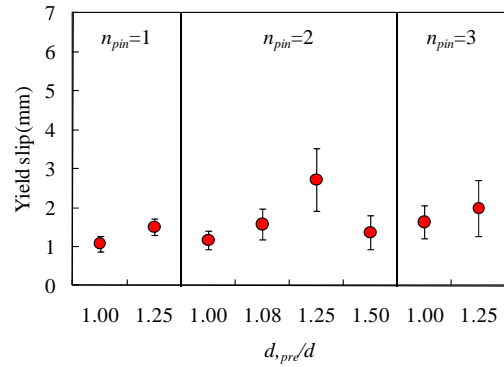


Fig. 20. Comparison of yield slip, slip corresponding to maximum load and ultimate slip of dowel type joints and ratio of predrilled hole diameter to dowel diameter.

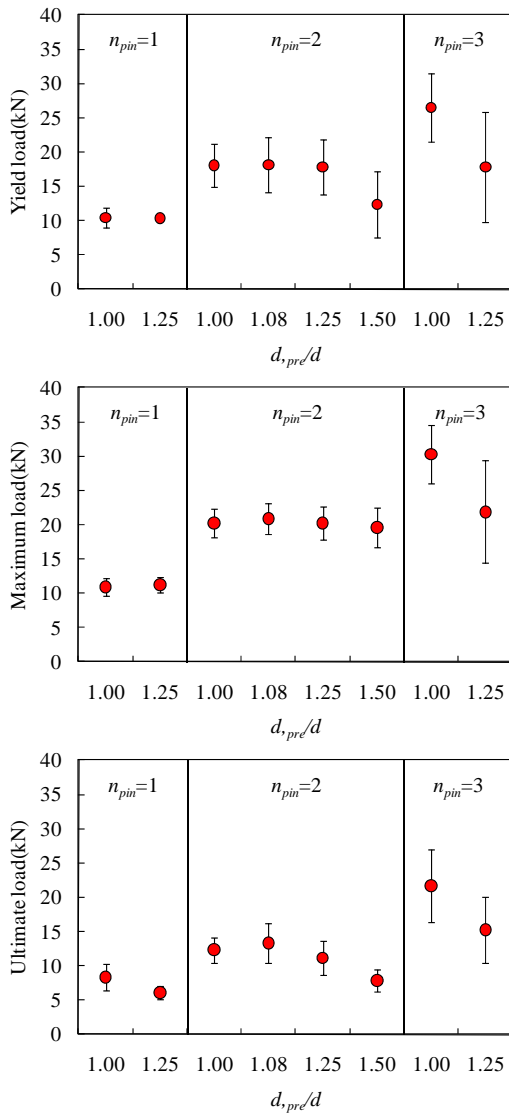


Fig. 21. Comparison of yield load, maximum load and ultimate load of dowel type joints and ratio of predrilled hole diameter to dowel diameter.

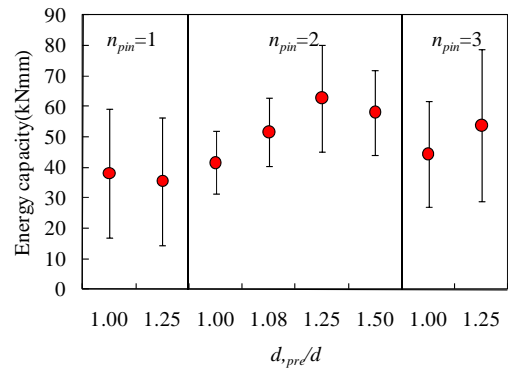


Fig. 22. Comparison of energy capacity of dowel type joints and ratio of predrilled hole diameter to dowel diameter.

Summary

This study investigated the effects of arrangement of dowels and diameter of pre-drilled hole on the shear performances of dowel type joints. Number of dowel of 12mm in diameter was 1 to 4 and arrangement of dowel was 7 patterns. The diameter of pre-drilled hole was 1.00, 1.08, 1.25 and 1.50 times as large as dowel diameter. The dowel type joints with steel side plates conducted on monotonic loading tests and reversed cyclic loading tests.

Initial stiffness, yield load, maximum load, ultimate load and energy capacity of joints increased as the number of dowel increased. Maximum load increased in proportion to number of dowel. However, the initial stiffness and energy capacity were depended on the arrangement of dowel.

When the diameter of pre-drilled hole was larger than the diameter of dowel, the initial stiffness of multiple dowel type joints decreased and the yield slip, the slip at maximum load, ultimate slip and the energy capacity increased. When the diameter of pre-drilled hole was 1.00 to 1.25 times as large as the diameter of dowel, the yield load and the maximum load of joints with 1 or 2 dowels showed approximately the same values regardless the diameter of pre-drilled hole. However, the yield load and the maximum load of joints with 3 dowels decreased as the diameter of pre-drilled hole increased.

Keywords: Load-slip curve, initial stiffness, shear load, slip, energy