

論文 あと施工アンカーボルトのせん断耐力に関する実験的研究

緒方紀夫*1、大中英揮*2

要旨：既設コンクリート構造物を補修・補強する工法の一つとして、鋼板接着工法がある。この工法は、コンクリートと鋼板の間に注入した樹脂の接着力で両者を一体化させ補修・補強するものである。この工法の効果は、樹脂の接着力に支配されるが、この耐力の算定法が明確でない。そこで、より確実な定着法として、機械的に定着する方法を開発することを目的に、あと施工アンカーボルトのせん断試験を実施し、せん断に対する基本的特性およびせん断耐力に関する多くの知見を得た。

キーワード：あと施工アンカーボルト、せん断耐力、補修、補強

1. はじめに

既設のコンクリート構造物を補修・補強する工法の一つとして、鋼板接着工法がある。この工法は鋼板をあと施工アンカーボルトで仮止めし、コンクリートと鋼板の間に樹脂を注入し樹脂の接着力で鋼板をコンクリートと一体化させることにより補修・補強するものである。この工法の補強効果は樹脂とコンクリートの間のせん断耐力に支配されるが、この耐力の算定法が必ずしも明確でない。また、構造物の形状や補強目的によっては、接着面積が十分に確保できない場合がある。このような場合にはアンカーボルト等で機械的に補強材を定着する必要があるが、このような場合の設計手法は必ずしも明確になっていない。そこで、仮止めに用いているあと施工アンカーボルトを鋼板を定着する構造部材として用いるために、あと施工アンカーボルトのせん断に対する基本的な性質の把握とせん断耐力の算定法を明らかにすることを目的として、せん断載荷試験を実施した。本文は、この試験結果と、これについて考察を加えたものである。

2. 試験の概要

本試験に使用したアンカーボルトは、トルク管理のできる図-1 に示すような硫黄快削鋼のアンカーボルトである。ボルト加工前の母材の引張試験結果を表-1 に示す。アンカーボルトを配置したコンクリートは粗骨材最大寸法 20mm で、せん断試験時の圧縮強度は 323 ~ 367kgf/cm² である。ボルトの形状、鋼板およびコンクリートの穿孔径は表-2 のとおりとした。試験ケースは試験結果を併記した表-4 のように、ボルト径、埋め込み深さ、鋼板とコンクリート間の隙間の有無、ボルトとコンクリート間の隙間の有無、群配置および鋼板とコンクリート間の接着剤の影響の合計 28 ケースである。各ケースの試験体数は、ケース1~20 が 2 個、ケース21~28 が 3 個である。検討項目のうち、鋼

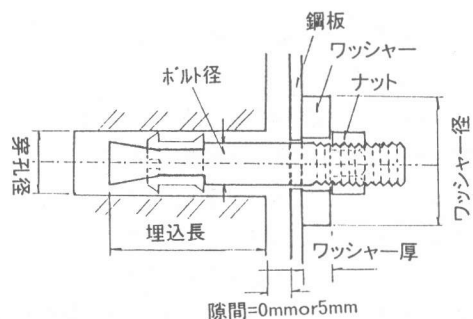


図-1 アンカーボルトの形状

* 1 日本道路公団 東京第三管理局技術部調査役、工修（正会員）

* 2 日本道路公団 試験研究所、工修（正会員）

板とコンクリート間の隙間の影響は、防錆のために鋼板とコンクリートの間に充填した樹脂が剥離した場合を想定したものである。また、表中の「特記」に示す「塩ビ板」は、塩化ビニール樹脂板をコンクリートと鋼板の間に挟み5mmの隙間を設けたものである。「ボルト隙間無」は、コンクリートとボルト間の隙間を無くすために、コンクリートに埋め込まれている部分のみに樹脂を注入したものである。「樹脂のみ」と示したケース13はアンカーボルトを用いずにコンクリートと鋼板の隙間5mmに接着剤を充填したものであり、このケースの接着面積は517cm²である。「樹脂+ボルト」と示したケース16は、10mmの径(φ)のアンカーボルトを5φの間隔で配置し、コンクリートと鋼板の隙間5mmに接着剤を充填したものであり、このケースの接着面積は196cm²である。ここに用いた樹脂の試験結果を表-3に示す。アンカーボルトの締め付けトルクは、φ10、16、20mmでそれぞれ12、55、110N・mである。

アンカーボルトおよび鋼板の配置要領を図-2に示す。載荷要領は、図-3のとおりである。載荷速度は0.5tf/minの単調載荷とし、ボルト破断まで連続的に載荷した。

3. 試験結果および考察

3.1 試験結果一覧

表-4にせん断試験の結果を示す。表中の荷重、変位等の試験結果は、図-4に示すような荷重-変位曲線の試験結果から読み取ったものである。また、表中の値は各ケースの平均値を示している。さらに、表中の「破断箇所」は、「A」がボルトの母材部、「B」がネジ部、「C」が固着用のくさびの断面縮小箇所の破断を、「母材」はコンクリートの破壊またはボルトの引き抜けを示している。群配置の「C/A」はAとCが混在し、Aの

表-1 アンカーボルトの母材強度試験結果

種別	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点 (kgf/cm ²)	伸び (%)	静弾性係数 (*10 ⁹ kgf/cm ²)
硫黄快削鋼	69	6610	8	2.1
硫黄快削鋼	55	5020	14.3	2.11

表-2 アンカーボルトの諸元及び穿孔径

アンカーボルト			ワッシャー		鋼板		コンクリート
径 (mm)	埋込深 (mm)	全長 (mm)	径 (mm)	厚さ (mm)	穿孔径 (mm)	厚さ (mm)	穿孔径 (mm)
10	30	60	32	8	10.5	4.5	11
	40	70					
	60	90					
	80	110					
	64	120					
16	64	120	52	8	16.7	4.5	18
	60	130					
	80	150					
	120	190					
	160	230					
20	60	130	62	8	21	4.5	22
	80	150					
	120	190					
	160	230					
	160	230					

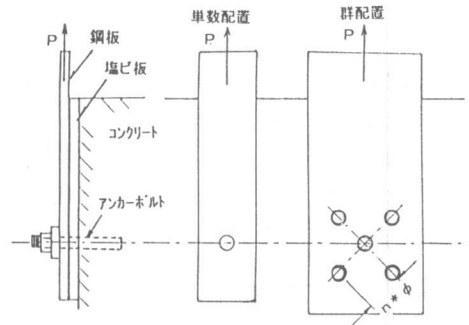


図-2 アンカーボルト及び鋼板の配置要領

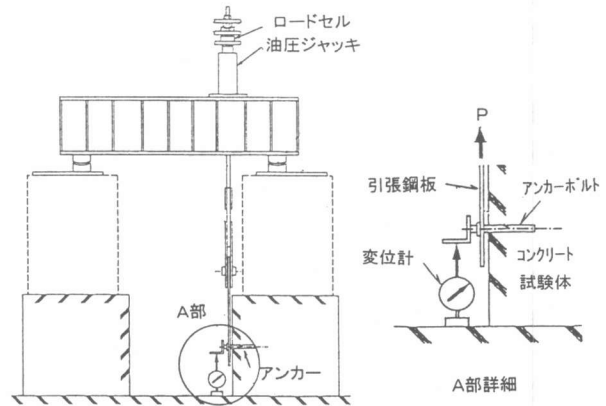


図-3 載荷要領

表-3 接着剤の強度特性

使用箇所	試験材齢 (日)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	樹脂の種類
鋼板・コンクリート間	7	660	700	エポキシ樹脂
ボルト・コンクリート間	14	336	679	エポキシ樹脂

方が多い事を示している。

3. 2 荷重—変位関係

(1) ボルトとコンクリート間の隙間の影響

図-5は、 $\phi 10\text{mm}$ のボルトを4 ϕ の埋め込み深さで単数配置したケース1と、ケース1と同じ条件であるがボルトとコンクリートの隙間に樹脂を充填したケース2の荷重荷重とボルト頭変位の関係を比較したものであり、それぞれのケースのうち耐力の大きい方の試験体のものを示している（以下、他の荷重—変位関係も同様）。これによると、隙間のあるケース1は2mm以上の初期ズレが生じているのに

対して、隙間のないケース2では初期ズレは生じていない。また、その後の剛性も隙間のないケース2は、隙間のあるケース1に比べ3倍近い剛性になっている。このことは、使用法に注意を要することを示している。

(2) コンクリートと鋼板の隙間の影響

図-6は、 $\phi 10\text{mm}$ のボルトを4 ϕ の埋め込み深さで単数配置しコンクリートと鋼板の間に5mmの樹脂板を挟んだケース3と、同条件で隙間の無いケース1を比較したものである。これによると、ケース3は、ケース1に比べ初期ズレは減少しているが、その後の剛性は小さくなっている。他のケースでも隙間の存在によりほとんどの場合で剛性が低下している。これは、隙間があることにより曲げの影

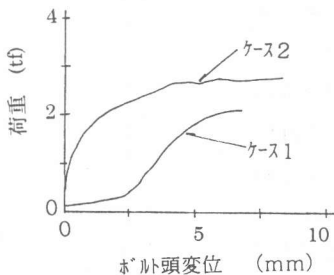


図-5 荷重—変位曲線
(アンカー部の隙間の影響)

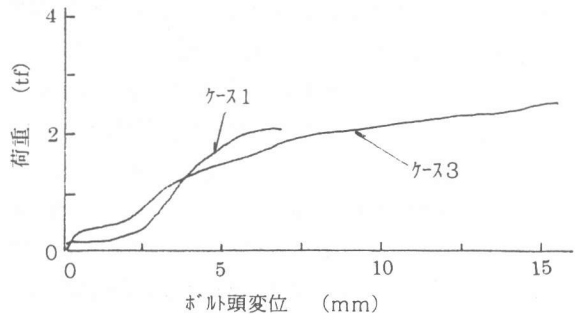


図-6 荷重—変位曲線
(鋼板との隙間の影響)

表-4 せん断載荷試験結果一覧表

ケース	仕様			試験結果				剛性 (kgf/cm^2)	破断箇所	特記
	ボルト径 (mm)	埋込深 (*径)	群間 (*径)	荷重(tonf)	変位(mm)	初期ズレ	破断			
1	10	4	—	0.31	2.02	2.3	7.2	7253	B	
2	10	4	—	0	2.35	0	5.2	22000	C	ボルト隙間無
3	10	4	—	0.2	1.77	0.7	7.4	4000	C	塩ビ板
4	10	4	—	0	1.98	0	2.5	19400	C	ボルト隙間無
5	10	6	—	0.16	2.24	1.4	7.5	7621	B	塩ビ板
6	10	6	—	0.19	2.13	0.7	8.2	5381	B	塩ビ板
7	10	3	—	0.45	1.72	2.3	8	3849	A, B	
8	10	3	—	0.3	1.66	0.9	6.8	5189	B	塩ビ板
9	16	4	—	0.25	5.12	0.3	8.4	13821	C	
10	16	4	—	0.55	4.54	1	9.5	14607	C	塩ビ板
11	20	4	—	1.03	8.49	1.2	14.1	23588	C	
12	20	4	—	0.22	7.58	0.1	12.7	18579	C	塩ビ板
13	—	—	—	0	15.15	0	0.2			剥離 樹脂のみ
14	10	4	5	0.75	9.44	0.5	6.3	9474	母材	
15	10	4	5	0.65	7.49	0.3	6	4967	母材	塩ビ板
16	10	4	5	0	12.23	0	2.1	111950	C	樹脂+ボルト
17	10	4	10	0.65	10.11	0.8	7.8	27167	C/A	
18	10	4	10	0.65	7.61	0	5.6	22273	C	塩ビ板
19	10	4	15	1	10.7	0.3	10	37143	C/A	
20	10	4	15	0.48	7.13	0.4	5.8	24516	C	塩ビ板
21	10	8	—	0.15	2.72	0.8	14.1	9267	A	
22	10	8	—	0.18	2.45	0.5	12.7	6637	A, B	塩ビ板
23	20	3	—	0.61	7.67	2.4	17.7	12929	母材	
24	20	3	—	0.63	7.31	3.2	17.1	11696	母材	塩ビ板
25	20	6	—	0.34	9.72	2.2	26.8	28136	A	
26	20	6	—	0.56	9.65	2	33.7	18669	A, C	塩ビ板
27	20	8	—	0.38	9.44	1.8	19.4	19890	A	
28	20	8	—	0.32	8.7	1.4	26.8	13267	A	塩ビ板

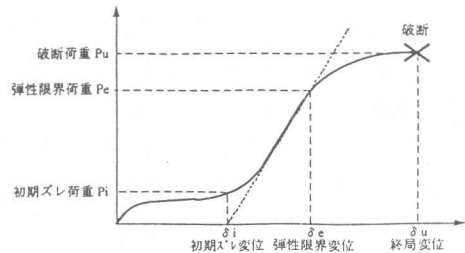


図-4 荷重とボルト頭変位量の関係

響が大きくなったものと考えられる。

(3) 埋め込み深さによる影響

図-7は、 $\phi 10\text{mm}$ でコンクリートと鋼板間の隙間の無い単数配置であり、埋め込み深さを3 ϕ 、4 ϕ 、6 ϕ としたものである。初期スレ後の剛性は、埋め込み深さの増加に伴い増加傾向にある。これは、埋め込み深さの増加に伴い引き抜け抵抗力も増加するため曲げ変形が抑制されるためと考えられる。

(4) ボルト径による影響

初期スレ後の剛性に与えるボルト径の影響を表-5に示す。埋め込み深さはボルト径の4倍とし、単数配置である。剛性は、ボルト径が大きくなるにつれ増加しているが、増加の割合は断面二次モーメント比よりも断面積比に近くなっている。これは、曲げによる影響よりもせん断が卓越しているためと考えられる。

(5) 群配置による影響

表-6は、 $\phi 10\text{mm}$ 、埋め込み深さ4 ϕ で5本組みにし、隙間の有る場合と無い場合についてボルト間隔を変化させたものの剛性を1本当りに換算し、群配置が初期スレ後の剛性に及ぼす影響をみたものである。これから破壊形態の異なるボルト間隔5 ϕ の場合を除くと、他のケースは剛性の読み取り精度を考慮すると同程度と考えられる。

(6) 接着剤を用いた場合の影響

図-8にコンクリートと鋼板の間に接着剤のみ用いたケース3と、5本のボルトを配置しコンクリートと鋼板の間に接着剤を充填したケース16の荷重と変位の関係を示したものである。接着剤を用いた場合の荷重と変位の関係は、ボルトのみを用いた場合と異なり、剛性が大きく破壊変位も小さい。接着剤のみの場合には剥離により破壊するが、アンカーボルトと併用したケース16の場合には11tf付近で接着剤の剥離が生じているが、アンカーボルトの存在によりさらに耐力が増加(12.23tf)している。ケース13と16では接着面積が異なるため、剥離する時の荷重を接着面積で除した平均付着応力を求めるとケース13で29.3kgf/cm²、ケース16で57.1kgf/cm²である。一般に、接着剤のこのようなせん断試験を行うと接着面積が小さくなるにつれ平均付着応力が増加する³⁾。ここでのこの違いは接着面積に起因するものであろう。また、この併用したケースの破壊形態は、ボルトのみ使用した同じ埋め込み深さ群間隔のケース14、15はコンクリートの破壊であったが、これらと

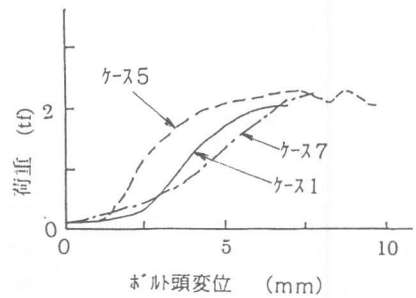


図-7 荷重-変位曲線 (埋め込み深さの影響)

表-5 剛性に及ぼすボルト径の影響

ケース	径 (mm)	隙間 (mm)	剛性 (kgf/cm ²)	$\phi 10$ に対する剛性比	$\phi 10$ に対する面積比	$\phi 10$ に対する二次モーメント比
1	10	0	7253	1	1	1
9	16	0	13821	1.91	2.56	6.55
11	20	0	23588	3.25	4	16
3	10	5	4000	1	1	1
10	16	5	14607	3.65	2.56	6.55
12	20	5	18579	4.64	4	16

表-6 剛性に及ぼす群配置の影響 (10mm、埋め込み4*径)

ボルト間隔 (*径)	隙間 (mm)	剛性(試験値) (kgf/cm ²)	1本当たり剛性 (kgf/cm ²)	剛性比
0	0	7253	7253	1
5	0	9454	1891	0.25
10	0	27167	5433	0.75
15	0	37143	7428	1.02
0	5	4000	4000	1
5	5	4967	993	0.25
10	5	22273	4454	1.11
15	5	24516	4903	1.22

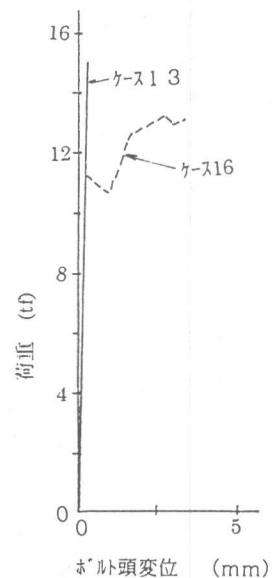


図-8 荷重-変位曲線 (接着剤の影響)

異なりボルト定着部の破断の断であり変位も小さい。これは、接着剤がボルトとコンクリートの隙間に入しボルト部に樹脂を充填したケース2あるいはケース4のような状態になった可能性もある。耐力から見ると鋼板とコンクリート間に隙間のないケース2の耐力を5倍した耐力(11.75tf)に近づいている。これらから、接着剤の存在は初期ズレの防止に役立つが、せん断耐力については、接着剤とボルトの大きい方で決まるものと思われる。

3. 2 せん断耐力

(1) ボルトとコンクリートの隙間がせん断耐力に与える影響

表-7は、φ10mmで埋め込み深さ4φの条件で、コンクリートとボルト間の隙間のある場合と無い場合のせん断耐力を比較したものである。これによると、コンクリートと鋼板間の隙間の有無に関わらずボルトの隙間のある方が低下しており、コンクリートとボルトの隙間はせん断耐力を低下させる要因の一つと考えられる。

(2) 埋め込み深さ、ボルト径とせん断耐力の関係

図-9にボルト径10mm、20mmにおける埋め込み深さとせん断強度(破断荷重をボルトの公称断面積で除したもの)の関係を示す。φ10mmは、埋め込み深さの増大に伴いせん断強度は大きくなる。しかし、φ20mmは6φの埋め込み深さまではφ10mmと同様にせん断強度が増加するがそれ以降は頭打ちになっている。また、両者のせん断強度は、6φまではほぼ等しく、埋め込み深さにもほぼ比例している。このことは、破壊耐力はボルト径・埋め込み深さの関数で表現できることを示している。なお、埋め込み深さが増大するにつれアノカボルトの破壊は純せん断に近づくものと考えられる。純せん断の場合のボルトの降伏せん断強度は、von Misesの降伏条件に従うとすると、降伏強度 $\sigma_y/\sqrt{3}$ となり、φ10mm、φ20mmはそれぞれ3820kgf/cm²、2901kgf/cm²となる。これが、φ20mmに頭打ちが現れた理由であろう。

(3) コンクリートと鋼板の隙間の影響

表-7 ボルトの隙間の影響

鋼板との隙間 (mm)	せん断耐力		耐力比 A/B
	ボルト部隙間 有り(A)(tf)	ボルト部隙間 無し(B)(tf)	
0	2.02	2.35	0.86
5	1.77	1.98	0.89

表-8 鋼板の隙間の影響

径 (mm)	埋込深 (*径)	せん断耐力(tf)		B/A	平均
		隙間無(A)	隙間有(B)		
10	3	1.72	1.66	0.97	0.92
10	4	2.02	1.77	0.88	
10	6	2.24	2.13	0.95	
10	8	2.72	2.45	0.9	
20	3	7.67	7.31	0.95	
20	4	8.49	7.58	0.89	
20	6	9.72	9.65	0.99	0.94
20	8	9.44	8.7	0.92	

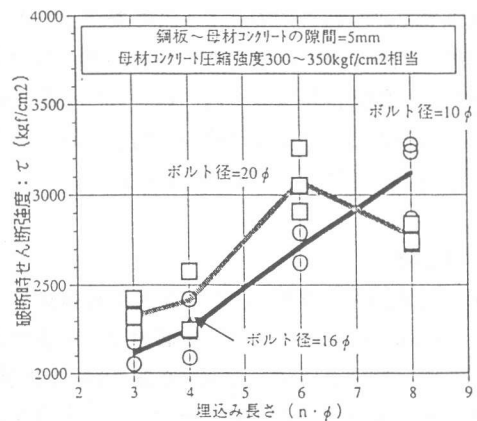
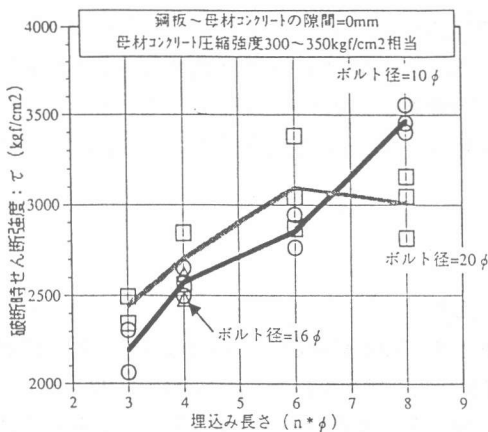


図-9 埋め込み深さ及びボルト径とせん断強度の関係

表-8は、単数配置の場合のコンクリートと鋼板の間の5mmの隙間がせん断耐力に与える影響をみるために、径10mm、20mmの各試験ケースについて、破断荷重を比較したものである。これによると、隙間がある場合は、無い場合に比べ10%弱破壊荷重が低下している。径による影響は、径に対する隙間の割合の小さい20mmの方が低下の度合いは小さいが、両者間に有為な差はない。これは、この試験程度の隙間ではせん断耐力に与える曲げの影響があまり大きくなかったものと考えられる。

(4) 群配置の影響

ボルト径10mm、埋め込み深さ4φの条件で、アンカボルトを群配置した場合のボルト間隔とボルト1本当りに換算した破壊時せん断耐力の関係を図-10に示す。同図にはボルト単体配置の結果も併せて示す。鋼板とコンクリートの隙間が無い場合にはボルト間隔が大きくなるにつれて大きくなる傾向にあるが、5φのときの破壊形態がコンクリートの破壊であるのを除外して考えると、ボルト単体の場合と大差がないといえる。しかし、隙間がある場合には単体配置に比べ15~20%低下しているように見える。しかし、群配置の場合の破壊形態は、配置間隔5φの場合はコンクリートの破壊、10φ、15φの場合はボルトの定着部の破壊であり、同様な破壊形態の単体配置の場合(ケース3の耐力の小さい方で1.64tf)と比較すると1本当りの耐力はほぼ同じである。したがって、隙間のある場合もボルト単体配置の場合と大差がないといえる。なお、配置間隔が5φのときはコンクリートの破壊が起きているので最小間隔はそれより大きくするのが望ましい。

4. おわりに

コンクリート構造物の補修・補強を行おうとする場合問題となるのが、補強材をどのように定着するかということである。ここでは、施工の容易なあと施工アンカを用いることを考え、せん断試験を実施した。今回の試験は限られた条件下での試験ではあるが、あと施工アンカのせん断に関する基本的特性およびせん断耐力に関する多くの知見を得た。定着部のコンクリートの劣化性状を含めた検討を行い、鋼板補強工法を用いる場合の定着部の耐荷力機構を明確にしたいと考えている。

コンクリート構造物の多様な補修・補強のニーズに答えられる定着工法の開発は急務であり、本報告が何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本コンクリート協会：あと施工アンカ技術資料、平成2年
- 2) 岡本俊彦、緒方紀夫、安藤博文、新藤竹文：あと施工アンカボルトの支圧接合におけるせん断耐力に関する研究、土木学会第49回年次学術講演会、平成6年9月、pp1102~1103
- 3) 緒方紀夫、安藤博文、松田哲夫、小島克朗、大野了：炭素繊維による段落し部を有する既存RC橋脚の耐震補強に関する研究、土木学会論文集 No.540/VI-31、85-104、1996.6

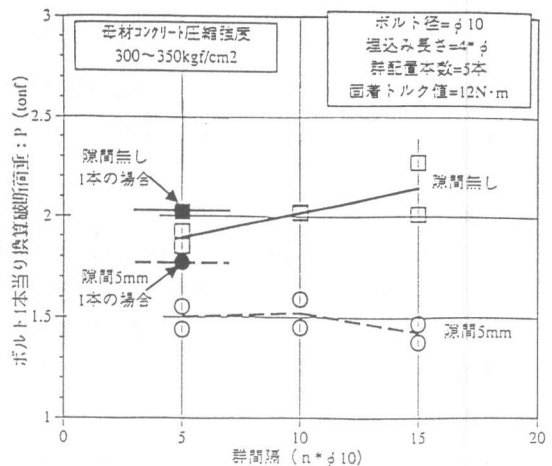


図-10 群配置間隔とせん断強度の関係