

論文 ひびわれのあるコンクリートに施工されたあと施工アンカーのせん断耐力

河村博之*1・塗木伸一*2

要旨：ひびわれのあるはりに、あと施工アンカーを施工し、壁を増設したものにせん断力が加わった場合、ひびわれ量によりどの程度の耐力低下を生じるかを調べるために、二点集中荷重により、ひびわれ量の異なる曲げひびわれを生じさせたはりに、セメントモルタル充填式あと施工アンカーを施工し、壁の一部を増設した供試体のせん断試験を行った。その結果、ひびわれがあれば若干耐力低下を生じるが、ひびわれ量によってはあまり影響がなく、また、ひびわれ巾が5mmのものに、エポキシ樹脂注入を行ってから壁を増設したものは、ひびわれのないものよりせん断耐力が大きくなることを報告した。
キーワード：あと施工アンカー、ひびわれ、せん断耐力、エポキシ樹脂注入

1. まえがき

あと施工アンカーは、耐震補強や設備機器の取付に数多く利用されているが、一般鉄筋の定着長さに較べ埋込深さが浅いために、コンクリート表面近くの強度や空隙等の欠陥に大きく左右される。前報[1]では、表面にひびわれの生じているコンクリートに施工されたあと施工アンカーが、引抜力を受けたときに、ひびわれのない健全なコンクリートに施工されたものに較べ、どの程度耐力低下を生じるかについて報告したが、本報では、曲げひびわれの生じている鉄筋コンクリートはりに、あと施工アンカーを使用し壁を増設した場合、ひびわれのない健全なはりに施工し壁を増設したものに較べ、はり-壁の境界近くのコンクリートおよびアンカーのせん断耐力がどの程度低下するかを実験的に調べたものである。

2. 実験方法

2-1 供試体の形状と種類

供試体の形状は図1に示すように、はり30cm×50cmに、厚さ15cmの壁を増設した場合を想定した。種類は、はりにひびわれの生じていないもの、および表1のように、ひびわれ量の多少をほぼ4段階に変えたもの、ひびわれ巾の大きなものにエポキシ樹脂注入したものを組合せた表2のような10種類について各2体ずつ、計20体の供試体について実験を行った。

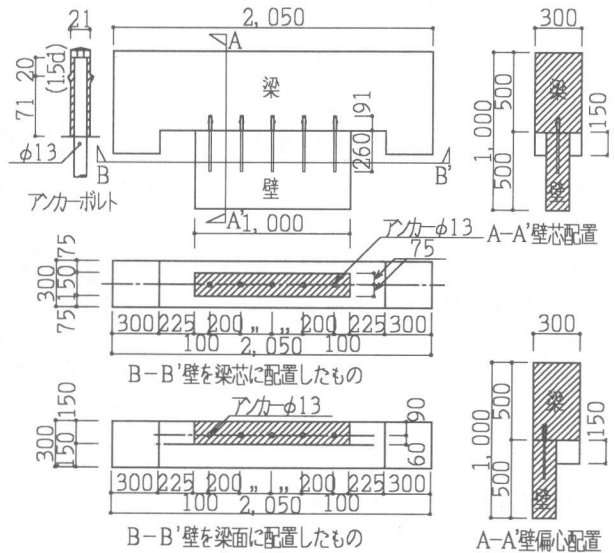


図-1 供試体形状

*1 九州産業大学教授 工学部建築学科, 工博(正会員)

*2 九州産業大学大学院 工学研究科建築学専攻

はりとの配筋は図2のようなものを用いた。

2-2 はりとびわれの作製

図1のようなコの字型コンクリートばりに、図2のような配筋をしたはりを、アンカー施工面を下にしてコンクリートを打設し、作製した。次に図3のように、コンクリート強度が約200kg/cm²に達してからH型钢加力ばりとこのコンクリートばりに、H型钢と鉄板を中央1050mmの間隔にはさみ、両端をワイヤーストレンゲージを貼った22φ鉄筋4本で均等に締め付け、はりに2点集中荷重による曲げを加え、最大ひびわれ巾がほぼ目標値に達するまで強制曲げ変形を与えた。

ひびわれ作製時コンクリート強度は表1に示す。

2-3 アンカーの施工と壁の作製

ひびわれ作製後、H型钢加力ばりとコンクリートばりをセットのまま、上下を逆にし、下穴用ビットでアンカー用21mmφの穴を開け、追いかけてアンダーカットドリルで定着金物面より1.5d位置を拡巾し(図1)、ナット付アンカー筋をセットし、

超早強セメントモルタルを充填した。充填モルタルのJロート法によるフロー値は56/sec、せん断試験時強度は約413kg/cm²である。

次にひびわれのあるものはひびわれ表面を粘土により軽くパテづめし、図2に示す壁の配筋をした後、壁の型枠をセットし、コンクリートを打設した。

2-4 はり-壁接合面のせん断実験

壁の強度が約300kg/cm²に達してから、図4に示すように、はり-壁接合面に曲げモーメントが加わらない状態でせん断力を加えた。加力は35tonセンターホールジャッキ2台で、はり部の片側を押す方法で2ton毎の静的漸増正負繰り返し水平荷重を加えた。測定は、荷重をロードセルで、はりと壁のずれ変形を壁端位置又は中央両側面を変位計で測定した。

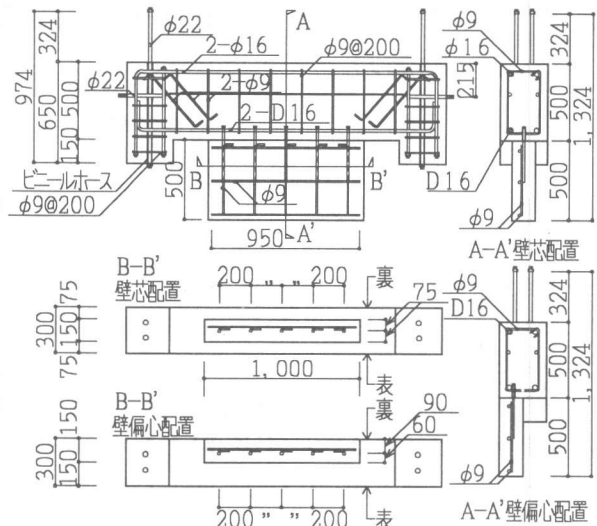


図-2 供試体配筋図

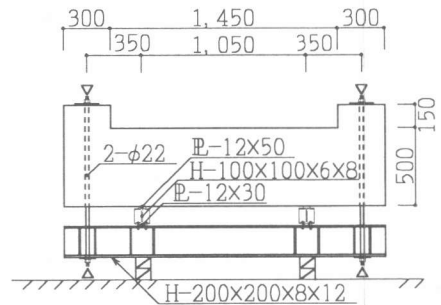


図-3 はりひびわれ作製

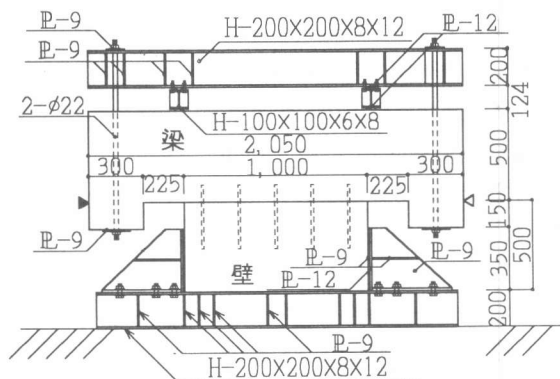


図-4 はり-壁接合面のせん断実験

表-1 はりのひびわれ量による供試体の種類と強制ひびわれ発生状況

1回目実験						凡例 Cr3 - 2 目標最大ひびわれ巾(mm) 2体目 Cr3 - e - 2 目標最大ひびわれ巾(mm) 偏心有 2体目 Cr5 Inj - 1 目標最大ひびわれ巾(mm) 樹脂注入 1体目 注 最大ひびわれ巾(b mcr): 壁長間の梁下端に生じた ひびわれ巾のうち最大の 巾 全ひびわれ巾(Σ b cr): 壁長間の梁下端に生じた ひびわれ巾の合計 ひびわれ量(μ cr): Σ b cr / l w
供試体名	最大ひびわれ巾 b mcr (mm)	全ひびわれ巾 Σ b cr (mm)	測長間長さ l w (mm)	ひびわれ量 μ cr (%)	材料強度 (kg/cm ²)	
Cr0.5-1	0.5	1.5	1000	0.15	試験時コンクリート強度	
Cr0.5-2	0.5	1.5	〃	0.15	$\sigma_B=262$	
Cr1-1	1.4	2.3	〃	0.23	梁曲げ補強筋 D16	
Cr1-2	2.0	2.7	〃	0.27		
Cr3-1	3.0	6.1	〃	0.61	$\sigma_y=3470$	
Cr3-2	3.0	5.3	〃	0.53		
Cr5-1	4.0	9.5	〃	0.95	試験時コンクリート強度	
Cr5-2	5.0	15.3	〃	1.53		
2回目実験						
Cr5Inj-1	5.9	13.5	1000	1.35	$\sigma_B=279$	
Cr5Inj-2	5.0	16.2	〃	1.62		
Cr1-e-1	2.0	3.9	〃	0.39	梁曲げ補強筋 D16	
Cr1-e-2	1.0	3.0	〃	0.30		
Cr3-e-1	3.0	9.4	〃	0.94	$\sigma_y=3470$	
Cr3-e-2	3.0	8.9	〃	0.89		
Cr5-e-1	5.0	15.8	〃	1.58	試験時コンクリート強度	
Cr5-e-2	4.5	12.3	〃	1.23		
はりのコンクリート調合と打設時スランプ値						
1回目実験	C : S : G : W = 304 : 777 : 1043 : 170				打設時スランプ値 = 15.0cm	
2回目実験	C : S : G : W = 279 : 797 : 1043 : 170				打設時スランプ値 = 16.5cm	

3. 実験結果

3-1 各荷重と変形一覧

各供試体はりの強制ひびわれ発生試験時の最大ひびわれ巾、全ひびわれ巾、ひびわれ量を表1に、せん断試験時打継部付着切荷重、ひびわれ発生荷重とその時のずれ変形およびひびわれ発生位置、最大荷重とその時のずれ変形および破壊要因を表2に示す。

3-2 コンクリートの破壊形状

図5にコンクリートの代表的な破壊形状を示す。最初にひびわれが生じるのは壁端部が殆どであるが、はりひびわれ巾が5mm以上になると、はり側のアンカー筋から既存ひびわれに向かうひびわれが生じた場合もあった(Cr5-1,2 Cr3-e-2 Cr5-e-1,2)。

最終的な破壊は、壁部分がせん断破壊するか、はり又は壁のアンカー筋の片側面コンクリートが剝離破壊するかのいずれかであった。

3-3 荷重-はり・壁ずれ変形曲線

図6に荷重-はり・壁ずれ変形曲線の代表的なものを示す。壁端部コンクリートが破壊すると急激に剛性が低下し、アンカー筋が曲げ降伏するが、その後若干荷重が増大し、壁コンクリートがせん断破壊するかはり又は壁コンクリートが剝離破壊した。

4. 実験結果の考察

各荷重を比較するにあたっては、はりと壁の各々1回目と2回目のせん断試験時コンクリート強度に差があるため、各荷重の発生要因となる部分のコンクリート強度の平方根に比例するものとして、 $\sigma_B=300\text{kg/cm}^2$ 時に換算したものについて比較する。

表-2 せん断試験供試体の種類とせん断試験結果

供試体名	打継部付着切荷重 Pb(t)	ひびわれ発生荷重 Pc(t)	ひびわれ時変位 δ_{pc} (mm)	ひびわれ位置	最大荷重 P max (t)	最大荷重時変位 δ_{pmax} (mm)	破壊要因
1回目実験							
Cr0-1	-10.9	14.3	0.59	壁端部分	21.0	2.00	壁部分の剝離破壊
Cr0-2	20.8	(-24.1)	(-0.17)	壁端部分 壁中央部分	26.0	0.20	〃
Cr0.5-1	-11.1	-15.4	-0.43	壁端部分	17.5	6.75	〃
Cr0.5-2	-13.1	16.0	0.65	〃	16.5	4.06	〃
Cr1-1	-12.1	-14.0	-0.39	〃	-18.0	-2.19	壁部分のせん断破壊
Cr1-2	10.1	16.1	0.65	〃	18.2	5.40	〃
Cr3-1	-14.0	-16.5	-0.35	〃	19.0	7.09	壁部分の剝離破壊
Cr3-2	-10.1	-13.5	-0.43	〃	16.0	4.15	〃
Cr5-1	-11.1	13.0	0.25	梁部分	16.0	9.40	〃
Cr5-2	-11.0	-13.0	-0.29	〃	-16.3	-9.15	〃
2回目実験							
Cr5Inj-1	28.0	28.0	0.01	壁端部分	28.0	0.01	壁部分の剝離破壊
Cr5Inj-2	-22.1	(-22.1)	(-0.02)	〃	24.0	0.01	〃
Cr0-e-1	-17.0	-17.6	-0.27	〃	-18.0	-4.70	〃
Cr0-e-2	21.0	21.0	0.02	〃	21.0	0.02	〃
Cr1-e-1	14.0	-15.5	-0.52	〃	-16.1	-4.65	〃
Cr1-e-2	-12.6	-15.5	-0.56	〃	18.0	7.20	〃
Cr3-e-1	11.1	15.5	0.45	〃	-16.0	-8.00	梁部分の剝離破壊
Cr3-e-2	-12.0	-15.1	-0.45	梁部分	-16.0	-6.75	〃
Cr5-e-1	16.0	16.0	0.03	〃	16.0	0.03	〃
Cr5-e-2	11.0	14.0	0.75	〃	16.0	4.60	壁部分の剝離破壊
1回目コンクリート強度 梁 せん断試験時 $\sigma_B=292\text{kg/cm}^2$ 鉄筋 壁筋 $\phi 9$ $\sigma_y=3400\text{kg/cm}^2$ 壁 せん断試験時 $\sigma_B=339\text{kg/cm}^2$ γ カー筋 $\phi 13$ $\sigma_y=3310\text{kg/cm}^2$							
2回目コンクリート強度 梁 せん断試験時 $\sigma_B=295\text{kg/cm}^2$ 鉄筋 壁筋 $\phi 9$ $\sigma_y=3400\text{kg/cm}^2$ 壁 せん断試験時 $\sigma_B=308\text{kg/cm}^2$ γ カー筋 $\phi 13$ $\sigma_y=3310\text{kg/cm}^2$							
注 付着切荷重：はりと壁のずれが0.02mmに達したときの荷重とした。 ひびわれ荷重で()内のものは、最大荷重後、反対向き荷重時に生じたものを示す。 破壊形状で、剝離破壊とは、梁又は壁の片側面のみが破壊したことを示す。							
壁打設時のコンクリート調合 1 回目実験 C : S : G : W = 361 : 723 : 1043 : 173 打設時スランプ値 = 14.5cm 2 回目実験 C : S : G : W = 398 : 689 : 1043 : 175 打設時スランプ値 = 15.0cm							

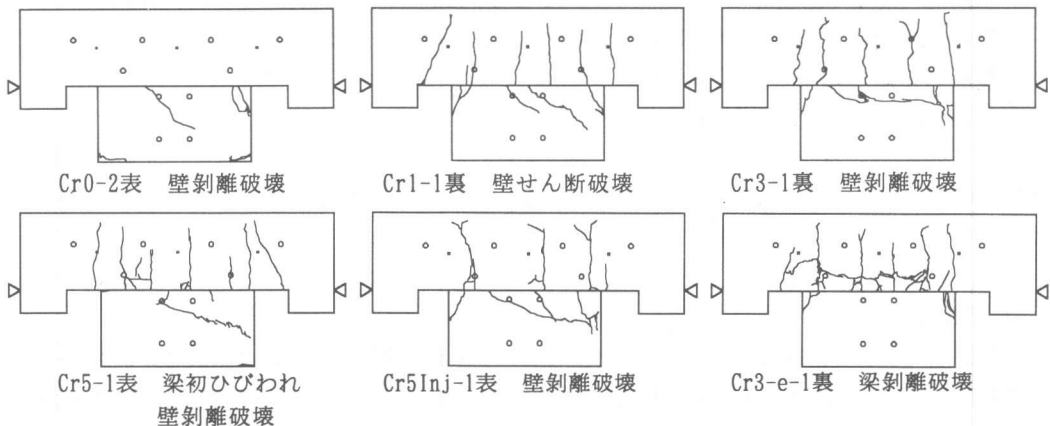


図-5 コンクリートの破壊形状 (表裏は図2平面図の下側を表とした)

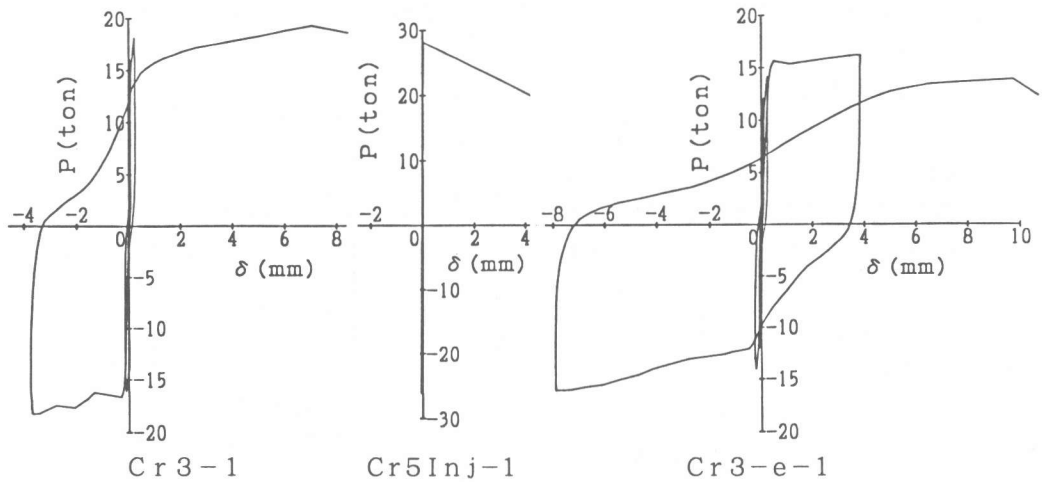


図-6 荷重-はり・壁ずれ変形曲線

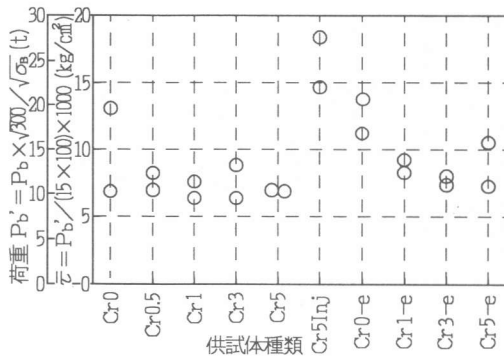


図-7 供試体の種類と打継部付着切荷重

4-1 打継部付着切荷重

各供試体の、はり-壁打継部付着切荷重を図7に示す。ひびわれのあるものは、ひびわれのないもの、および樹脂注入をしたものに比べ、若干小さい値を示している。これはひびわれに詰めた粘土パテがひびわれの両側のコンクリート面に付着したためであると思われるが、ひびわれ巾による差は殆ど見られない。

4-2 初ひびわれ荷重について

各供試体のひびわれ発生荷重を図8に示す。前記と同様にひびわれのないものに比べ、樹脂注入をしたものは約35%大きく、ひびわれのあるものは約15%小さい。

初ひびわれ発生は、ひびわれ巾が大きいはりに生じたものを除けば、すべて壁端部アンカー筋から外側に生じている。そこで、はしあき、へりあきの小さいコンクリートに埋め込まれた鉄筋に水平力が加わった時のP. J. McMackin等による耐力式[2] $q_{max} = \sqrt{\sigma_n} \cdot A$ および河村・浜田の応力分布仮定による耐力式[3] $P_y = \int \sigma_n \cdot dr$ から端部アンカー筋1本の負担荷重を求め、壁アンカー筋5本が均等に水平力を負担した場合の荷重を図中に記した。すべて実験値の方が大きい。はりひびわれのないものおよび樹脂注入したものが特に大きいのは、付着切荷重が大きく、繰り返し回数が0~1であるためであり、また、はりひびわれのあるものは、片押加力であるために、加力と反対側壁端のひびわれ発生側アンカー筋の負担力が特に小さくなることや、壁横筋が抵抗したためと考えられる。ひびわれ量による差は殆どみられない。

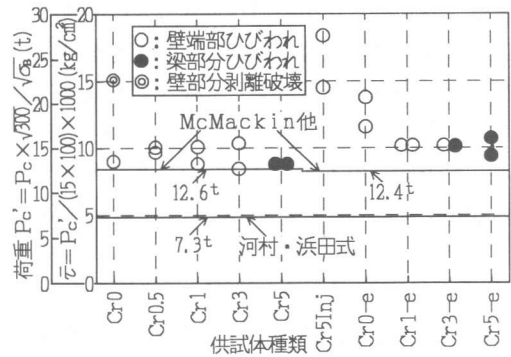


図-8 供試体の種類とひびわれ荷重

いずれも付着切荷重が小さいと、繰り返により変形量が次第に大きくなり、壁端ひびわれ荷重は小さくなるようである。

4-3 最大荷重について

各供試体の最大荷重を図9に示す。最大荷重時の破壊はすべて、壁またははりコンクリートの剝離破壊かせん断破壊であり、アンカー筋がせん断切断したものはない。耐震改修設計指針のコンクリート支圧により決まる

[4] 接着系耐力式 $Qa = 0.4sc \alpha \sqrt{Ec \cdot \sigma_B}$ および

河村・浜田の剝離破壊耐力式 $Pr = 0.69 \sigma_t \cdot$

Se の Se に、壁端部のひびわれ発生錐状破壊部分を除いた値を図中に示す。耐震改修指針式は、へりあきの考慮がなされていないので過大値を与えたが、河村・浜田式は実用的に充分使用可能な値を示した。最大荷重時変形は2~10mmである。また、最大荷重は、はりひびわれが生じていると耐力低下は生じるが、耐力低下の大きさはひびわれ量によって影響を受けないことが明らかになった(図10)。

樹脂注入したものは、はり縁コンクリートひびわれ部のアンカー水平力による局部破壊と変形を樹脂が拘束するためか、最大荷重もひびわれのないものより大きい。

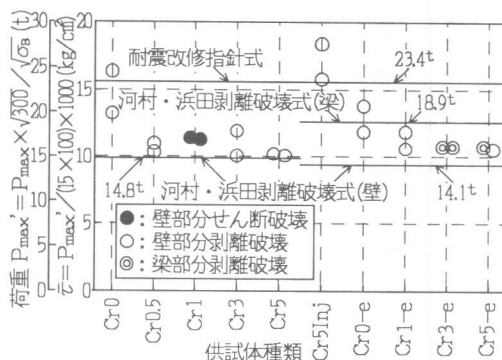


図-9 供試体の種類と最大荷重



図-10 ひびわれ量と最大荷重

5. まとめ

はりにひびわれを生じているものに、標記アンカーを施工し、壁を増設をした場合ははり-壁接合面のせん断耐力は、はりにひびわれのないものに比べ、ひびわれのあるものは約15%小さくなったが、ひびわれ量の大小による差は殆どなかった。また、はりひびわれに樹脂注入したものは、はりにひびわれのないものより若干大きくなった。壁の剝離破壊で耐力が決まるものは、河村・浜田の実験式で、実用的な範囲で耐力を推定することが出来る。

この実験は平成8年度文部省科学研究費補助金基盤研究(C)によるものである。

参考文献

- [1] 河村博之：ひびわれのあるコンクリート上のあと施工アンカーの耐力，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No. 2, pp. 581-586, 1996. 6
- [2] Patrick J. McMackin, et al.: Headed Steel Anchor under Combined Loading; AISC Engineering Journal, Second Quarter, 1973
- [3] 浜田公也，河村博之：周辺コンクリートの大きさがせん断耐力に及ぼす影響シアキー付穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルト耐力の基礎的研究(その3)，日本建築学会構造系論文集，第460号, pp. 113-122, 1994. 6
- [4] 日本建築防災協会：耐震改修設計指針，pp. 197-198, 1996