

V-18 鋼板接着により補強したPC桁の破壊性状について

北海道開発局土木試験所 正会員 根本任宏
正会員 大橋 猛

1. まえがき

既設コンクリート橋が塩害などの原因により鋼材が腐蝕して、コンクリートにひびわれが生じたり、耐荷力が不足するような場合の補修・補強工法として鋼板接着工法が多く用いられている。この鋼板接着工法はRC桁については試験実績や施工例が多く、その補強効果は確認されているといえる。しかし、PC桁についての試験実績が少なく、RC桁に準じた設計・施工が行われているのが現状である。

このため、鋼板接着により曲げ補強したポストテンションPC桁について静的載荷試験および疲労試験を行い、鋼板長（定着長）の相違および機械的定着の有無がその補強効果に及ぼす影響を調べた。

2. 実験概要

2-1. 試験桁の形式

試験桁の種類を表-1に示した。鋼板接着の基本となるPC桁は図-1に示すように、桁長3.4m、支間3.0m、高さ0.4mのポストテンションPC単純T桁である。表-2に使用した鋼材とその性質を示した。PC鋼棒は実橋を想定して、曲げ上げて配置し、端部はナット止めとした（図-2）。コンクリートの設計基準強度は400kgf/cm²、プレストレス力は25t（両引き）で、緊張後、シーす内にグラウトを注入した。

2-2. 鋼板の接着

鋼板の接着は、PC桁にプレストレスを導入し、シーす内のグラウトが硬化した後、図-3に示す位置に厚さ6mmの鋼板（SS-41）を接着した。接着には表-3に示す性質のエポキシ樹脂を用い、その樹脂厚は5mmとして注入法により行った。C桁は、機械的定着による効果を調べるため、打込みアンカー（φ8）を併用した。なお、鋼板接着の際にPC桁に初期ひびわれの導入はしていない。

表-1 試験桁の種類

桁番号	鋼板長(mm)	定着長(cm)	アンカー
A	—	—	—
B	2 800	900	無
C	2 800	900	有
D	1 900	450	無

表-2 鋼材の性質

鋼材の種類	材 質	弾 性 係 数 ($\times 10^4$ kgf/cm ²)	降伏点強度 (kgf/cm ²)	引 張 強 度 (kgf/cm ²)
鉄筋	φ6 SR24	2.1	3380	4660
	D10 SD30	2.1	4100	6000
PC	φ26 A種1号	2.06	10400	12300
鋼板	6mm SS41	2.0	2800	4300

表-3 接着剤の性質

接着剤の種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾 性 係 数 (kgf/cm ²)	引 張 強 度 (kgf/cm ²)
シール材	781	55200	242
注入材	738	21800	469

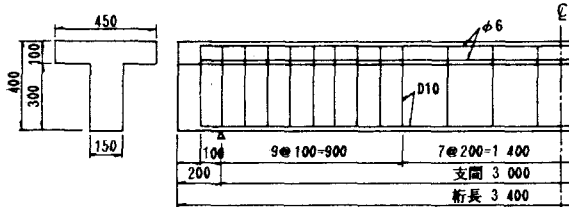


図-1 試験桁の基本形状

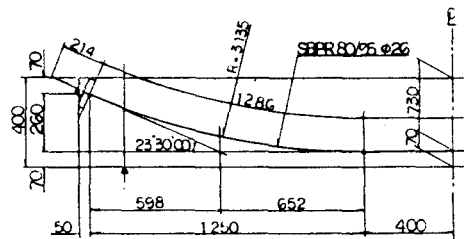


図-2 PC鋼棒の形状

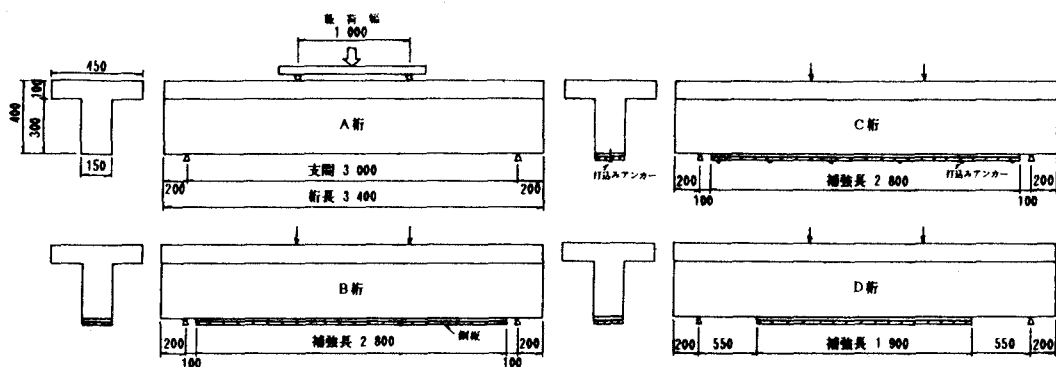


図-3 試験桁の種類および荷重位置

3. 静的荷重試験

3-1. 試験方法

荷重の荷重方法は図-3に示すように、支間3.0m、荷重幅を1.0mとして行った($a/h=2.5$)。荷重は0.5t毎に増加させ、ひびわれ発生時および破壊荷重(計算値)の約1/3、1/2程度に達したときに荷重を0tに戻し、各々の荷重まで5回繰り返した後、破壊まで荷重した。また、鋼材とコンクリートのひずみはワイヤーストレインゲージで測定し、たわみは変位計を用いて測定した。

3-2. 試験結果

試験の結果を表-4に示した。

表-4 静的荷重試験結果

3-3. ひびわれ性状

鋼板を接着した桁のひびわれは、鋼板の接着長に関わらず、鋼板を接着している範囲内に生じた。図-4に各桁のひびわれ幅とその本数の関係を示したが、ひびわれ本数は無補強桁(A桁)に比べ鋼板接着桁のほうが多い。しかし、ひびわれ幅では、0.1mm以下のひびわれは無補強桁では全ひびわれ数の12%程度であるが、鋼板接着桁は60~80%占めており、B、C桁は0.2mm以上のひびわれは生じなかった。

3-4. たわみ性状

試験桁の中央部のたわみは図-5に示したように、鋼板を接着することにより、たわみが減少され、荷重20tにおいて、無補強桁に比べ約60%たわみが少ない結果となった。

桁番号	コンクリート強度 (kgf/cm ²)	ひびわれ発生荷重 (t)	鋼板剥離荷重 (t)	破壊荷重 (t)	平均付着強度 τ_a (kgf/cm ²)
A	397	9.0	—	34.0	—
B	486	17.0	40.0	—	23.6
C	508	16.0	36.5	—	20.8
D	505	18.0	25.0	35.5	20.1

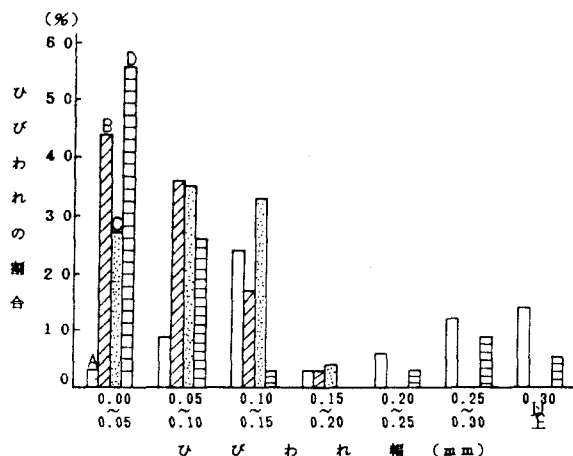


図-4 ひびわれ幅とその数の関係

鋼板接着桁は荷重25t程度、すなわ

ち、中央部の鋼板ひずみが約750μ程度までは同程度のひずみであったが(図-6)、鋼板長の短いD桁は25t以降、鋼板の剥離にともない、たわみは増加し、A桁(無補強桁)と同様の性状となった。

3-5. 破壊性状

A 桁（無補強桁）は、軸方向鉄筋およびPC鋼棒が降伏した後、圧縮フランジが圧壊して曲げ破壊した。B、C 桁（定着長90cm）は荷重が40tおよび36.5tに達したとき、コンクリート腹部の鋼板端部から荷重点方向にひびわれが生じた直後に、突然、鋼板が接着面に沿って剥離し、耐力が低下した。鋼板はコンクリートと接着剤との界面で剥離し、コンクリートとの付着はあまりみられなかった。また、C 桁では、機械的定着の

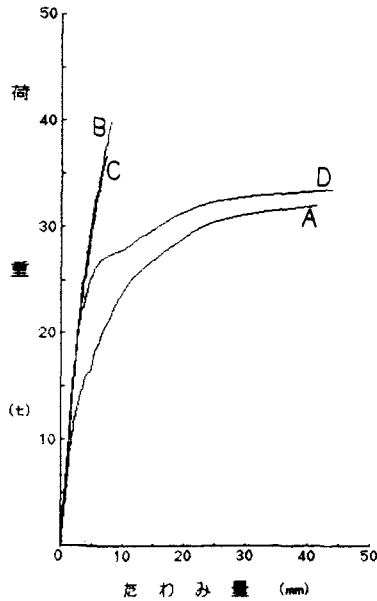


図-5 たわみ量（桁中央部）

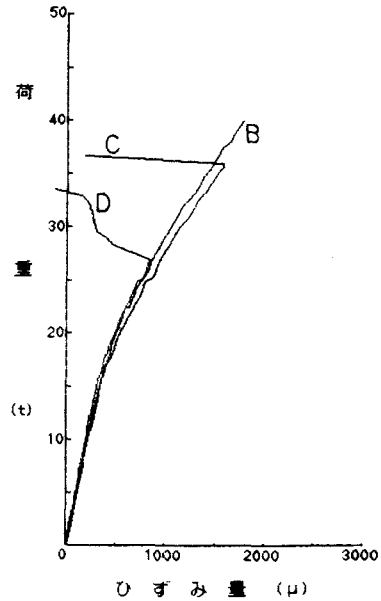


図-6 鋼板のひずみ（桁中央部）

効果を調べるため打込みアンカー（φ8）を併用したが、その効果は全くなかった。D 桁（定着長45cm）は、荷重が20tとなったとき、鋼板端部の両側から桁腹部にひびわれが生じ、25tに達したとき、鋼板は両端部より徐々に剥離し始めた。しかし、B、C 桁とは異なり、鋼板剥離後の耐力の急激な低下はなく、荷重の増加にともない、鋼板接着面に沿って剥離が進行し、鋼板は落下した。この桁もB、C 桁と同様に、コンクリートと接着剤の界面で剥離した。また、鋼板の剥離が進行するにつれて、たわみが急速に増加し、曲げ破壊した。

4. 疲労試験

4-1. 疲労試験方法

静的荷重試験において、鋼板接着した桁の鋼板ひずみ（中央部）は図-6に示したように、約750μ程度までは同様であるが、それ以降になるとD桁のひずみは低下する傾向となった。このため、疲労試験において、繰返し荷重の上限は鋼板ひずみが約750μとなる荷重とし、下限はその1/2となる荷重とした。また、荷重方法は静的荷重試験と同様であり（図-3）、荷重速度は1～3Hzとした。

4-2. 試験結果

試験の結果を表-5に示した。

繰返し荷重の上限は静的荷重試験における鋼板剥離荷重および破壊荷重の52～63%、下限は同じく25～42%となった。

B、C 桁は荷重回数が200万回となっても鋼板剥離は生じなかったため、静的荷重により破壊させた。また、D 桁は荷重回数が10万回を越えてから鋼板が剥離し始め、87.6万回るとき鋼板は落下した。その後荷重を100万回まで行い、静的荷重により破壊させた。

表-5 疲労試験結果

桁番号	繰返し荷重(t)		鋼板剥離回数	鋼板剥離荷重(t)	破壊荷重(t)	平均付着強度 τ_a (kgf/cm ²)
	上 限	下 限				
B	25.0	14.0	200万回	40.0	—	22.9
C	19.0	9.0	以 上	35.8	—	20.5
D	21.0	15.0	87.6万回	—	31.8	20.5

疲労試験後の破壊性状は、静的载荷試験の場合と同様に、B、C桁は荷重の増加により鋼板は突然剥離した。また、鋼板の剥離荷重および破壊荷重は静的载荷試験の場合と同じか若干低い程度である。

図-7、8に载荷回数と桁中央部におけるたわみ量および鋼板ひずみの関係を示した（上限荷重）。B、C桁は载荷回数を200万回としてもたわみ量の変動はほとんどなく、鋼板のひずみも若干低下する程度であった。しかし、D桁は、10万回を過ぎた後、鋼板端部から徐々に剥離し始め、载荷回数の増加に伴いたわみ量は増加し、鋼板のひずみは低下していった。

5. 鋼板の平均付着強度

鋼板とコンクリートの付着強さは図-9に示すように、曲げスパンの鋼板引張力を定着部の付着力によって保持されていると考え、鋼板の荷重による付着強度は定着部の平均付着強度に等しいことになる。

静的载荷試験および、疲労試験でのB、C桁は200万回終了後の静的载荷による鋼板の最大ひずみより、また、疲労試験のD桁は10万回終了における鋼板ひずみより求めた平均付着強度を表-4、5に示した。この結果、平均付着強度は20.1～23.6 kgf/cm²となり、RC桁の場合(a/h=2.25)に比べ¹⁾、約20%程度大きい値となった。

6. ま と め

以上の結果をまとめると次のようになる。

- 1) 鋼板を接着することにより、たわみ量を小さくする。また、ひびわれ発生荷重を上げ、ひびわれ幅も抑制できるが、その数は多くなる。
- 2) 鋼板の平均付着強度は、鋼板の定着長の長短にかかわらず、ほぼ一定（概ね20 kgf/cm²）となるが、定着長が短いと、鋼板剥離荷重は小さくなる。
- 3) 鋼板剥離後の曲げ性状は、無補強桁のそれに急速に近づくので、補強桁の終局強度としては鋼板剥離強度を考えるべきである。
- 4) 疲労試験において、鋼板の定着長を十分にとり、上限荷重を静的剥離荷重の50～60%としても、付着能力はほとんど低下しない。

〔参考文献〕

- 1) 石谷、桧貝、細田：鉄筋コンクリート床版の補強方法に関する試験、昭和49年度 日本道路公団試験所報告

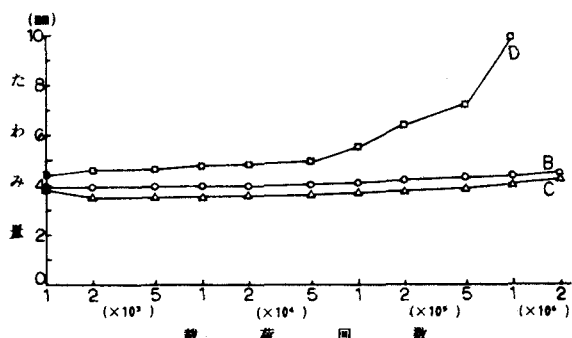


図-7 载荷回数とたわみの関係（桁中央部）

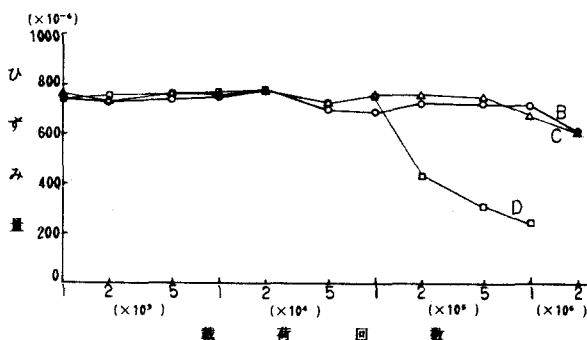


図-8 载荷回数と鋼板ひずみの関係（桁中央部）

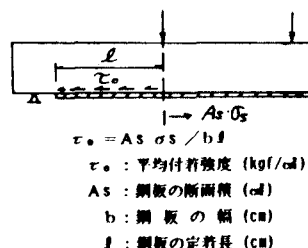


図-9 平均付着強度