

(119) 後付着型緊張材の諸特性およびコンクリート部材の曲げ載荷特性に関する基本的研究

神鋼鋼線工業(株) PC技術部
 京都大学 工学部土木工学科
 同 上
 同 上 正会員

○白濱 昭二
 服部 篤志
 宮川 豊章
 藤井 學

1. はじめに

後付着型緊張材は、緊張・定着までは従来のアンボンド工法と同等の方法で作業を行うことができ、その後はあらかじめシース内に充填されている樹脂の硬化によりコンクリートとの一体化を図ろうとするものである。この後付着型緊張材に関して現在いくつかの研究報告がなされている¹⁾が、これらは材料的あるいは構造的な方面からのみ注目して論じたものが多い。本報告ではこれらを相互に関連付けながら必要な追加実験を行い、総合的に検討・考察を加えたものである。

2. 後付着型緊張材の概要

後付着型緊張材は、図-1に示すようにPC鋼材の周囲に充填材を塗布し、さらにその周囲をポリエチレン製のシースで被覆したものである。この充填材は常温硬化型のエポキシ樹脂であり、使用時にはグリース状であるので通常のアンボンドPC鋼材と同様に緊張作業を行うことができる。また緊張後、あらかじめ配合によって定められた時期にこの充填材が硬化するため、コンクリートと緊張材の一体化が実現できる。すなわち、緊張・定着までの作業自体はそれが容易なアンボンド工法と同等に行うことができ、充填材硬化後はボンド工法によるプレストレストコンクリート部材と同等な性能を有することができる。

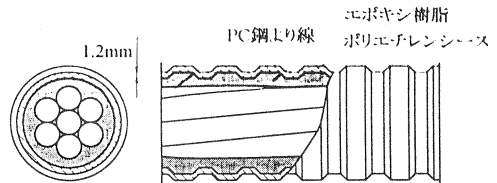


図-1 後付着型緊張材の形状および寸法

3. 樹脂の諸特性

3.1 樹脂の硬化特性

充填材として使用している常温硬化型のエポキシ樹脂は、硬化促進剤の添加量を変えることによって硬化までの期間をコントロールする事ができる。図-2に硬化促進剤の添加量と硬化時間との関係を示す。硬化の

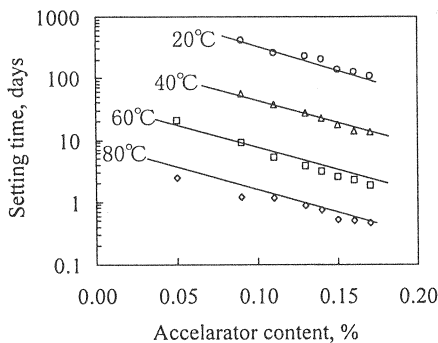


図-2 硬化促進剤の添加量と硬化時間の関係

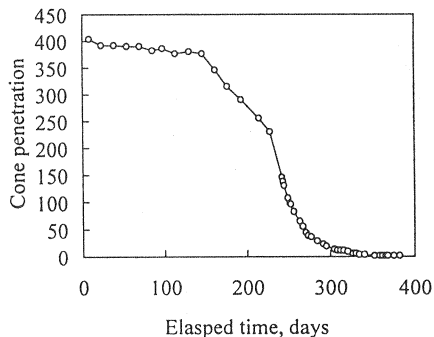


図-3 充填材の硬化過程

判定はちょう度が10になった時点とした。なお、ちょう度はアンボンドPC鋼材のグリースの軟度の目安として用いられている指標であり、樹脂中に保持具を含めた重量が150gの円すいを5秒間進入させた時の深さを測るもので、浸入深さ0.1mmが、ちょう度1に相当する。

図-3に、樹脂の硬化過程の一例を示す。アンボンドPC鋼材に用いるグリースのちょう度は約290であるので、この配合の樹脂を用いた後付着型緊張材は配合後約6箇月間まではアンボンドPC鋼材と同様に緊張できる事を示している。すなわち緊張可能である期間が6箇月であり、その後急速に硬化が進行して、最終的には緊張材とコンクリートが一体化することを示している。

3.2 充填材の各種強度

樹脂の各種強度を調べるために、引張せん断強度試験(JIS K 6850「接着剤の引張せん断接着強さ試験方法」)、引張強度試験(JIS K 6911「熱硬化性プラスチック一般試験方法」5.18引張強さ)、圧縮強度試験(JIS K 6911「熱硬化性プラスチック一般試験方法」5.19圧縮強さ)および表面強度試験(ショア強度、Dスケール)を行った。その試験結果を表-1に示す。なお、試験は80℃で促進硬化させた樹脂によって行った。

表-1 樹脂の硬化特性

Strength in shear by tension loading N/mm ²	Tensile strength N/mm ²	Compressive strength N/mm ²	Surface hardness (shore D)
13.3	31.0	92.8	84.3

4. 後付着型緊張材のコンクリートとの付着特性

後付着型緊張材とコンクリートとの付着特性を調べるために付着強度試験を行った。試験体を図-4に示す。試験方法は日本コンクリート工学協会引抜試験方法案に準じ、比較用として通常のスパイラルシースにセメントグラウトを施した試験体についても試験を行った。

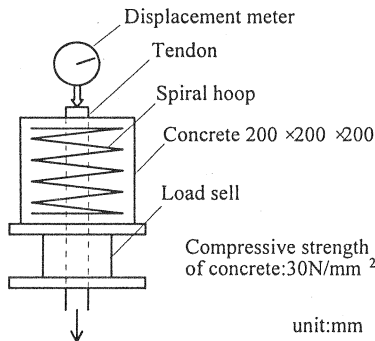


図-4 付着強度試験体

表-2は試験結果を示したものであり、これより、後付着型緊張材のコンクリートとの付着強度は、通常グラウトを施したPC鋼材と同等であることがわかった。なお、後付着型緊張材の抜出しは、シースとコンクリートの間で起こった。

表-2 付着強度試験結果

Specimen	Average bond strength, N/mm ²	Number of specimens
After-set type prestressing tendon ϕ 21.8	3.9	3
Prestressing steel ϕ 21.8 with cement grout	3.8	3

5. 後付着型緊張材の耐火特性

後付着型緊張材を建築の梁またはスラブなどに適用する場合を想定して、プレストレストコンクリート部材としての耐火性状に関する試験を行った。試験方法はJIS A 1304「建築構造部分の耐火試験方法」に準拠した²⁾。また、熱影響を受けた後の後硬化型緊張材の付着の劣化を調査するため、耐火試験後の試験体を用いて付着強度試験を行った。試験体形状を図-5に示す。

試験は、コンクリートのかぶりを要因とし、水準は30, 40, 60mmの3水準とした。また、試験体はポリエチレンシースを用いた通常の後付着型緊張材:ASTの他に、比較用としてシースに鋼製のスパイラスシースを用いた後付着型緊張材:ASM、アンボンドPC鋼材:UBP、鋼製のスパイラスシースにセメントグラウトを施した通常のポストテンション方式の緊張材:GBMの計4種類とした。試験体一覧を表-3に示す。

昇温温度はJIS A 1304の標準曲線に従い、加熱等級は30分、1時間および2時間の3水準とした。加熱は試験体を加熱炉の上に直接乗せ、試験体底面に直接炎があたるようにして行い、温度の測定はコンクリートおよび緊張材に取付けた熱電対を用いて行った。

図-6に各試験体中の緊張材の最高温度の測定結果を示す。

30分耐火においては各試験体間で最高温度に優位差は見られないが、1時間および2時間耐火の場合、かぶり40~60mmにおいて、緊張材の温度はほぼASM, UBP, GBM, ASPの順となっている。JIS A 1304においては、プレストレストコンクリート造の柱および梁の場合の耐火性能の判定基準として、緊張材の最高温度が400℃を超えないものを合格としている。この判断基準を満足させるためには、図-6によれば必要な後付着型緊張材のかぶりは、1時間耐火の場合、約30mm、2時間耐火の場合、約40mmと推定される。

図-7は各加熱等級別に、試験終了後の各試験体における平均付着強度を示したものであり、図-8は、後付着型緊張材の各耐火

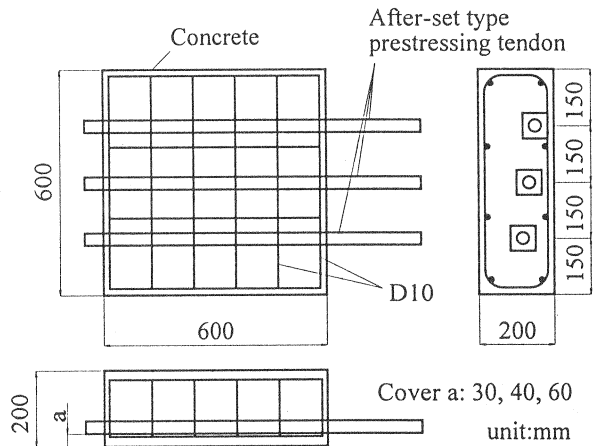


図-5 耐火試験用コンクリート試験体

表-3 試験体一覧

Identification	Tendon	Sheath
ASP	After-set type prestressing tendon $\phi 17.8$	Polyethylene
ASM	After-set type prestressing tendon $\phi 17.8$	Steel
GBM	Prestressing steel $\phi 17.8$ with cement grout	Steel
UBP	Unbonded prestressing steel $\phi 17.8$	Polyethylene

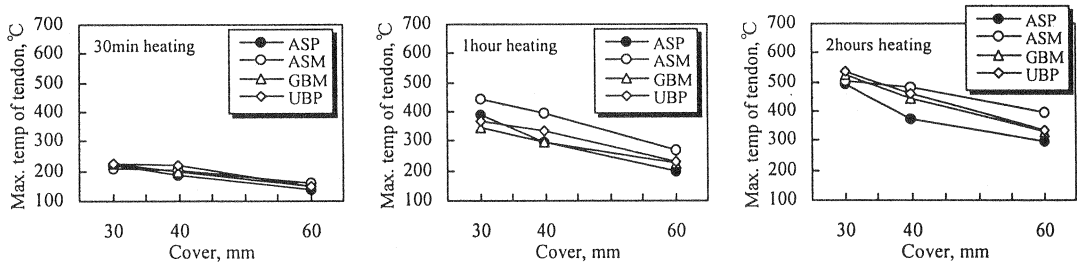


図-6 緊張材の最高温度

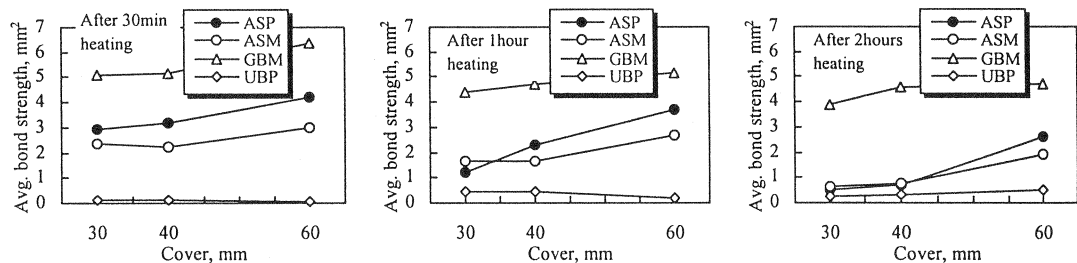


図-7 耐火試験後の平均付着強度

時間における試験終了後の各試験体の平均付着強度を示したものである。前出の後付着型緊張材のコンクリートとの付着特性試験の結果、その平均付着強度が 4N/mm^2 程度であったことを考慮すると、それが劣化し始めるかぶりは、30分耐火では約55mm、1時間耐火では約65mm、2時間耐火では約75mmとなる。

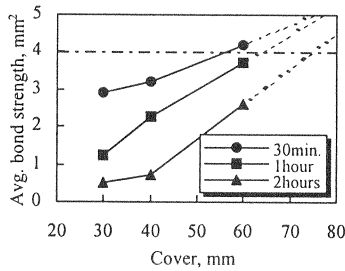


図-8 後付着型緊張材の耐火試験後の平均付着強度

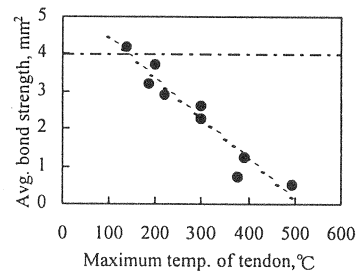


図-9 後付着型緊張材の平均付着強度と最高温度の関係

図-9は、後付着型緊張材の最高温度と平均付着強度の関係を示したものであり、平均付着強度と緊張材の最高温度はほぼ直線の関係にある事を示している。この場合、平均付着強度が劣化し始める温度は約 150°C となる。

6. プレストレストコンクリート部材の曲げ載荷特性

実際のプレストレストコンクリート部材に後付着型緊張材を適用した場合の曲げ変形挙動やひび割れ性状を確認するために、試験桁の曲げ載荷試験を行った³⁾。試験体寸法を図-10に、試験体一覧を表-4に示す。

試験は、支点間距離 2100mm 、載荷点距離 700mm の3等分2点載荷とした。載荷は最初のひび割れが生じるまで行い、その後荷重が0に戻るまで除荷した。そして、再びひび割れ発生荷重の1割を順次加えた荷重まで載荷し、試験体が破壊するまで繰り返す、繰返し載荷とした。なお、試験体数は各2体とした。

表-5にひび割れおよび終局モーメントの計算値および試験結果を示す。なお、計算値は緊張材に取り付けたロードセルによる緊張力および試験時のコンクリート強度(37N/mm^2)を用いて計算したものである。

表-5より、後付着型緊張材を用いた試験体ASTは、ひび割れモーメントおよび終局モーメントに関して、通常のセメ

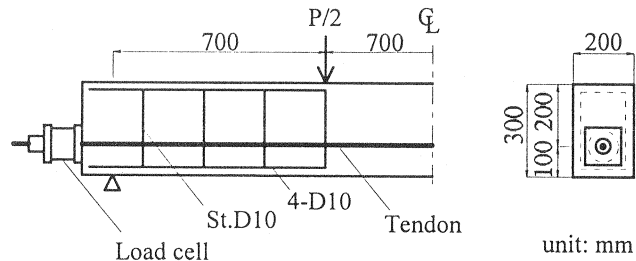


図-10 試験体寸法

表-4 試験体一覧

Identification	Tendon	State of bond
AST	After-set type prestressing tendon $\phi 17.8$	Bonded
GBT	Prestressing steel $\phi 17.8$ with cement grout	Bonded
UBT	Unbonded prestressing steel $\phi 17.8$	Unbonded

表-5 試験結果一覧

Identification	Bending moment at first crack (kN-m)		Ultimate moment (kN-m)	
	exp.	calc.	exp.	calc.
AST-1	34.3	37.0	64.3	58.4
AST-2	36.1	34.1	61.3	58.4
Average	35.2	—	62.8	—
GBT-1	37.7	35.6	67.9	58.4
GBT-2	30.9	36.4	64.9	58.4
Average	34.3	—	66.4	—
UBT-1	34.3	36.2	50.6	40.9
UBT-2	34.3	31.8	49.9	41.7
Average	34.3	—	50.3	—

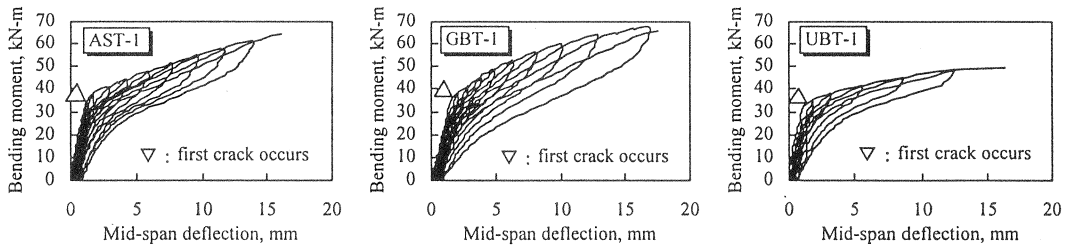


図-11 曲げモーメントーたわみ曲線

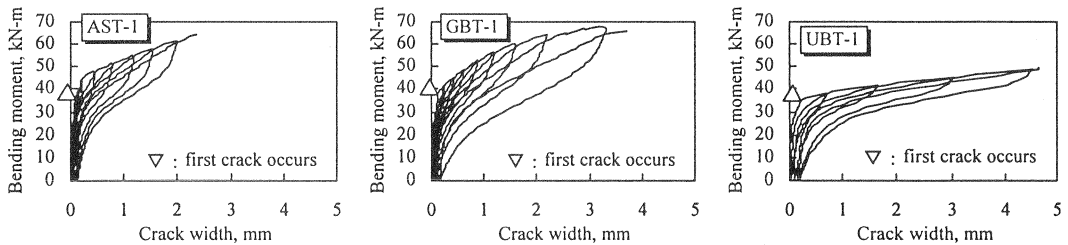


図-12 曲げモーメントーひび割れ幅曲線

ントグラウトを施したボンド部材 GBT と同等の耐力を持っているといえる。

図-11 は、代表的な試験体の曲げモーメントーたわみ曲線を示したもので、変形状においても、アンボンド部材 UBT が、ひび割れ発生以降急激にたわみが大きくなっているのに対して、AST は穏やかな増加曲線を描いており、GBT と同様な性状を有することがわかる。

図-12 に、代表的な試験体の曲げモーメントとひび割れ幅曲線を示す。この図から分かるように、ひび割れ幅についても AST は GBT と同様な増加性状を示し、AST の最大ひび割れ幅は GBT のそれよりも小さかった。また図-13 は試験終了後の試験体のひび割れ状況を示したもので、AST は GBT と同様に十分なひび割れの分散が見られた。

図-14 は、曲げモーメントの増加に伴う緊張材定着部の緊張力増加を示したものである。緊張材とコンクリートとの付着のない UBT の場合、载荷の開始と共に定着部の緊張力は増加し始め、ひび割れ発生と同時に急激に大きくなっている。また、コンクリートと付着のある GBT の場合は、载荷開始から終局時まで緊張力の増加はほとんどみられない。AST の場合、ひび割れが発生するまでは GBT と同様に緊張力にほとんど変化はなく、ひび割れの発生と同時に緊張力は緩やかに増加している。この緊張力の増加は、ひび割れの発生によるたわみの増大に伴う、ポリエチレンシースの塑性変形が原因であると考えられる。したがってひび割れ発生後も緊張材定着部の緊張力の増加を抑えるためには、使用しているポリエチレンシースの材質をさらに剛性の高いものにするか、またはその厚さを小さくする必要がある。しかし、その増加の程度は UBT ほど急激ではなく、実用上問題がない程度であると考えられる。

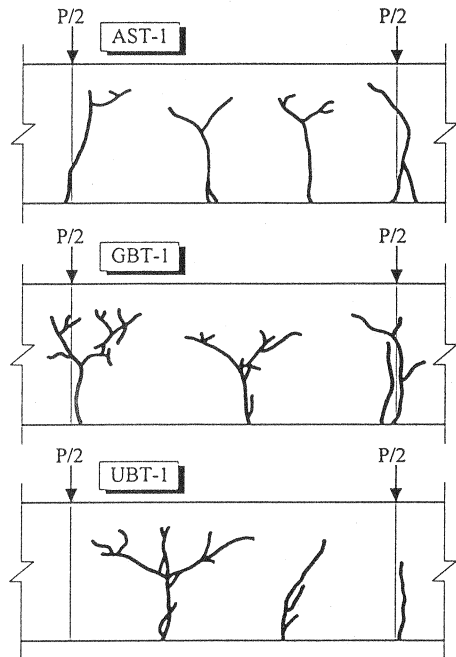


図-13 試験終了後の試験体ひび割れ状況

7. 結論

以上の各試験結果より、硬化時期をコントロールするための、充填材の硬化特性に関する有用なデータを得ることができた。また、その機械的性質は、緊張材の構成要素として用いるのに十分な特性を持っていることが分かった。

耐火試験において、後付着型緊張材の付着強度の条件を考慮すると、緊張材温度の上限は約150℃であり、そのために必要なかぶり厚は30分耐火で約55mm、1時間耐火で約65mm、2時間耐火で約75mmとなる。しかしながら、付着強度試験では試験体長やコンクリートの状態、補強の方法および緊張材のサイズなどが平均付着強度の試験結果に影響を与える事や、必要な付着強度がどの程度であるかという事が明確に示されていない事などから、平均付着強度に関する必要なかぶりの評価に関しては、今後さらに検討する必要がある。

後付着型緊張材を用いたプレストレストコンクリート部材は、曲げ耐力およびひび割れ性状について、通常のセメントグラウトを施したボンド部材とほぼ同等の性能を有している。したがって、後付着型緊張材は、セメントグラウトを施した通常のボンド部材と同様な力学的特性を持つと同時に、アンボンドPC鋼材と同様に簡便な取扱い性、施工性を有し、さらに耐食性に優れ、ボンド工法とアンボンド工法の両者の長所を併せ持っているものと考えられる。

今回行った一連の試験ではまだまだ不十分な面があり、今後さらに各種試験を行ってその特性を把握していく必要がある。例えば、温度変化がある場合の充填材の硬化特性、長期間経過後の充填材の機械的性質および耐久性、また動的な荷重に対する部材の挙動等は、今後本格的に適用していく上で必要不可欠なものであろう。

参考文献

- 1) 例えば、材寄・南・小林：アフターボンドPC鋼材の諸特性について、プレストレストコンクリート、vol.32、No.4、pp.91~98、1990.6
- 2) 岡崎・白濱：アフターボンドPC鋼材の耐火特性について、プレストレストコンクリート技術協会第3回シンポジウム論文集、pp.433~436、1992.11
- 3) 辻・森田・徳永・白濱：アフターボンドケーブルを用いた地下駐輪場の施工、プレストレストコンクリート、vol.34、No.3、pp.30~37、1992.5

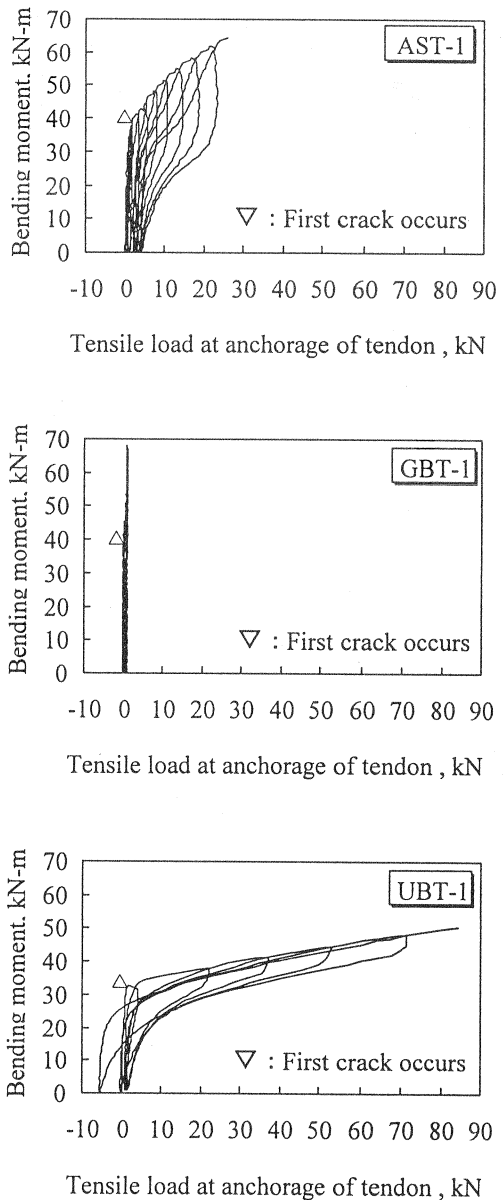


図-14 曲げモーメントと緊張材定着部の荷重増加の関係