後硬化型緊張材の基本的諸特性および コンクリート部材の曲げ載荷特性に関する研究[†]

白 濱 昭 二* 服 部 篤 史**
宮 川 豊 章** 藤 井 學**

Properties of After-Set Type Prestressing Tendon and Flexural Behavior of Concrete Beams Using Tendon

by

Shoji Shirahama*, Atsushi HATTORI**, Toyoaki MIYAGAWA**

and Manabu FUJII**

The after-set type prestressing tendon is newly developed for post-tensioning of concrete. Without grouting, this tendon has the same structural properties as the grouted tendon. This paper presents the properties of after-set type prestressing tendon and the flexural behavior of concrete beams using the new tendon.

After-set type prestressing tendon is composed of prestressing steel coated with a cold setting epoxy resin in a corrugated polyethylene sheath. The hardening time of the resin can be controlled by the amount of curing catalyst that hardens after stressing and then bonding with concrete occurs through the sheath. The concrete specimens embedding the tendon and the beams reinforced with the tendon were prepared. The pull-out test, fire resistance test and flexural test of the beams were carried out. In conclusion, the bond strength of after-set type prestressing tendon is equal or superior to that of the prestressing steel with cement grout. The concrete cover of after-set type prestressing tendon needs about 55mm, 65mm and 75mm for 30minutes, 1 and 2 hours of fire resistance periods respectively. The concrete beams using the after-set type tendon show the flexural behavior similar to the concrete beams using the prestressing steel with cement grout.

Key words: After-set type prestressing tendon, Prestressed concrete, Non-grout

1 はじめに

プレストレストコンクリートの分野において、建築におけるフラットスラブやタンク等では、コンクリートと緊張材との間に付着のないアンボンド工法が近年採用される例が多い。しかし耐震性が重視される構造物では、セメントグラウトによって両者に付着を持たせ、コンクリートと緊張材の一体化を図る従来からのボンド工法が主流である。ところが、このセメントグラウトを注入するポストテンション工法においては、シースの配置、緊張材の挿入およびグラウト作業といった一連の工事が煩雑であり、また、最近ではグラウト不良といった問題も生じている。

本研究でとりあげた後硬化型緊張材¹⁾は、工事現場での緊張・定着までは従来のアンボンド工法と同等の方法により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。この後硬化型緊張材は耐震性の改善という点から従来のアンボンド工法が用いられていた分野への採用だけでなく、グラウト作

業が不要であるという省力面や耐久性に関する品質面が積極的に評価され、セメントグラウトを用いたボンド部材に代わるボンド部材として、土木分野において広く適用できるものと考えられている。

本研究では、この後硬化型緊張材の基本的諸特性ならびに実用実験の結果について報告する。

2 後硬化型緊張材の概要

後硬化型緊張材は、Fig. 1に示すようにPC鋼材の周囲に充填材として常温硬化型のエポキシ樹脂を塗布し、さらにその周囲をポリエチレンシース材で被覆したものである。この充填材は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。

[†] 原稿受理 平成7年11月10日 Received Nov. 10, 1995

* 神鋼鋼線工業(株)PC技術部 〒660 尼崎市中浜町, PC Wire Technical Dept., Shinko Wire Co. Ltd., Nakahama-cho, Amagasaki, 660

** 正会員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 〒606-01 京都市左京区吉田本町, Dept. of Civil Eng., Kyoto Univ., Sakyo-ku, Kyoto, 606-01

Fig. 1. After-set type prestressing tendon.

被覆材として使用しているポリエチレンシースは、破れにくく、耐候性、耐水性、耐薬品性、特に耐アルカリ性に優れている。また、後硬化型緊張材は、十分に管理された工場で製造されるため、近年問題となっているグラウトの充填不良などの心配がなく、PC 鋼材の防錆上の点において優れた耐久性を示す。

3 樹脂の諸特性

3・1 充填材の硬化特性

使用している充填材は常温硬化型のエポキシ樹脂であり、硬化剤を添加することによって初めて硬化が開始され、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。Fig. 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、樹脂中に円すいを 5 秒間進入させた時の深さを測るものである。試験は JIS K 2220「グリース」5.3 ちょう度試験方法に準拠して行った。

Fig. 3 に、硬化時間を 6 箇月として配合した充填材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、この配合の充填材では配合後約 6 箇月間まではアンボンド PC 鋼材と同様に緊張できる期間であり、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

Fig. 2. Setting time of epoxy resin for prestressing coating.

Fig. 3. Hardening process of epoxy resin formulated with setting time of 6 months.

Table I. Properties of hardened epoxy resin.

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

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 Table I に示す。なお、試験は 80°C で促進硬化させた樹脂によって行った。

4 後硬化型緊張材のコンクリートとの付着特性

4・1 試験概要

後硬化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。試験体および試験の概要を Fig. 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、コンクリート強度が 30N/mm² に達した時点で試験を行った。なお、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。

4・2 試験結果

試験結果を Table II に示す。

試験結果より、後硬化型緊張材のコンクリートとの付着強度は、通常のグラウトを施した PC 鋼材と同等であることがわかった。なお、後硬化型緊張材の抜け出しは、シースとコンクリートの間で起こった。

Fig. 4. Pull-out test.

Table II. Results of pull-out test.

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

5 後硬化型緊張材の耐火特性

5・1 試験概要

本試験は後硬化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を試験したもので、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、耐火試験後の試験体を用いて付着強度試験を行い、加熱による付着力の劣化について調査を行った。試験体形状を Fig. 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、試験体は後硬化型緊張材の他に、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硬化型緊張材、アンボンド PC 鋼材、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の計 4 種類とした。試験体一覧を Table III に示す。

加熱等級は 30 分、1 時間および 2 時間の 3 種類とし、昇温温度は JIS A 1304 の標準曲線に従って行った。加熱は加熱炉の上に試験体を直接乗せ、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り付けた熱電対によって行った。

5・2 試験結果

Fig. 6 に各試験体中の緊張材の最高温度の測定結果を示す。

Fig. 5. Concrete panel for fire resistance test.

Table III. List of test tendon.

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

30 分加熱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 時間加熱の場合、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°C 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、Fig. 6 によれば必要な後硬化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。しかし、後硬化型緊張材をボンド部材として使用するためには、コンクリートの付着特性が重要となるので、試験後の試験体を用いて付着強度試験を行った。その結果を以下に示す。

Fig. 7 は、各耐火時間別に各試験体における平均付着強度を示したものであり、Fig. 8 は、後硬化型緊張材の各耐火時間における付着強度を示したものである。前出の後硬化型緊張材のコンクリートとの付着特性試験において、その平均付着強度は 4N/mm² 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

Fig. 6. Maximum temperature of tendons at fire resistance test.

Fig. 7. Average bond strength of tendons after fire resistance test.

Fig. 8. Average bond strength of after-set type pre-stressing tendon after fire resistance test.

は約 75mm となる。

Fig. 9 は、後硬化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る。この図から分かるように、平均付着強度と最高温度はほぼ直線の関係にあり、この場合、平均付着強度が劣化し始める温度は約 150℃ となる。

Fig. 9. Relation between average bond strength and maximum temperature of after-set type pre-stressing tendon at fire resistance test.

Fig. 10. Specimen of flexural test.

Table IV. List of tendons used for test beams.

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

6 プレストレストコンクリート部材の曲げ荷重特性

6・1 試験概要

実際のプレストレストコンクリート部材に後硬化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、試験桁の曲げ荷重試験を行った³⁾。試験体寸法を Fig. 10 に、試験体一覧を Table IV に示す。

なお、試験体製作に用いたコンクリートは W/C が 47%、 S/a が 43.2% で、セメントは早強セメントを使用した。また、試験体の緊張はコンクリート強度が 20N/mm² を超えたことを確認してから行った。

試験は、支点間距離 2100mm、荷重点距離 700mm の 3 等分 2 点荷重とし、荷重を行って最初のひび割れが生じた時点で除荷し、荷重が 0 に戻ったら前回の荷重の 1 割を加えた荷重まで荷重し、試験体が破壊するまで繰返した。なお、試験体数は各 2 体とした。

6・2 試験結果

Table V に初期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/mm²) を用いて計算したものである。

Table V より、後硬化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、通常のセメントグラウトを施したボンド部材 GBT と同

Table V. Results of flexural tests.

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

Fig. 11. Relation between bending moment and mid-span deflection of prestressed concrete beams.

Fig. 12. Relation between bending moment and crack width of prestressed concrete beams.

等の耐力を持っている。

Fig. 11 は、代表的な試験体の荷重-たわみ曲線を表したもので、変形状態においても、アンボンド部材 UBT がひび割れ発生荷重以降で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。

Fig. 12, 13 に、代表的な試験体の曲げモーメントとひび割れ幅の関係および試験終了後の試験体のひび割れ状況を示す。

これら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 のそれより小さく、また試験終了後も十分なひび割れの分散が見られた。

Fig. 14 は曲げ載荷モーメントの増加に伴う緊張材の

Fig. 13. Ultimate crack patterns of beams after flexural test.

定着部の引張荷重の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、荷重の開始と共に定着部の緊張材荷重は増加し始め、ひび割れの発生と同時にその増加の度合いが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、荷重開始から終局時まで荷重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 と同様に緊張材の荷重にほとんど変化はなく、ひび割れの発生と同時に緊張材の荷重が増加し始めている。その荷重増加は、ひび割れの発生による変形の増大に伴う、ポリエチレンシースあるいは充填材の塑性変形が原因であると考えられる。ただし、ポリエチレンシースと充填材の弾性係数を比べると、ポリエチレンシースの方が断然小さいので、主な原因は充填材よりもポリエチレンシースの方にあると思われる。したがって、ひび割れ発生後も緊張材端部の荷重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、またはその厚み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。

7 結 論

以上の各試験結果より、充填材の硬化特性を把握することができ、硬化時期をコントロールするのに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。今後さらに、温度変化がある場合等の充填材の硬化特性、長期間経過後の充填材の機械的特性、耐久性等についてさらに検討を加える必要がある。

耐火試験において、後硬化型緊張材の機械的性質、付

Fig. 14. Relation between bending moment of beam and tensile load occurred at anchorage of tendon.

着強度の各条件を考慮すると, 必要なかぶりは 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. また, そのときの緊張材温度は約 150°C であった. なお, 必要なかぶりにおいて, 試験体長やコンクリートの状態, および補強の方法などが平均付着強度の試験結果に影響を及ぼすこと, 必要な付着強度がどの程度であるかということが明確に示されていないことなどから, 平均付着強度に関する結果の評価に関しては, 今後さらに検討する必要がある.

後硬化型緊張材を用いたプレストレストコンクリート部材は, ひび割れ性状および曲げ耐力について, 通常のセメントグラウトを施したボンド部材とはほぼ同等の性能を有している. したがって, 後硬化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有し, しかもアンボンド PC 鋼材と同様に取り扱い性, 施工性, 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, 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) 材寄 勉, 南 敏和, 小林 剛, プレストレストコンクリート, 4, 91 (1990).
- 2) 岡崎達也, 白濱昭二, 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, 3, 433 (1992).
- 3) 辻 英一, 森田秀喜, 徳永雄一郎, 白濱昭二, プレストレストコンクリート, 3, 30 (1992).