

論文

[1170] FRP 緊張材マルチケーブル用としての定着用膨張材の開発

副田孝一*¹・原田哲夫*²・上林真幸*³・細野克夫*⁴

1. はじめに

最近、PC構造物の緊張材の抜本的な防食対策として、従来のPC鋼材から、ハイテク繊維を用いたFRP ロッドおよびストランドの利用に関する研究が盛んに行われている。FRP を緊張材として用いる場合の最大の問題点は、定着方法である。FRP 緊張材はPC鋼材に比べて、繊維直角方向の支圧およびせん断に対して弱いため、PC鋼材と同様の方法で定着することは困難で種々の工夫を凝らした定着法が提案されている。なかでも、原田、出光¹⁾らは静的破碎剤が高膨張圧を発現し、かつその膨張圧が液圧的に伝播する性質に着眼して、静的破碎剤をベースとして流動性、膨張圧発現時間を改良した定着用膨張材によるソフトタッチで確実なFRP 緊張材の定着方法を考案し、それに関する基礎的な研究を行ってきた。しかし、これは緊張材1本についての場合が主で実用的な観点からは、本定着法をマルチケーブル用にも適用することが望まれる。FRP 緊張材を挿入したスリーブへの充填作業において、スリーブを立てた状態で垂直方向からの充填が行える場合では、充填性、材料分離抵抗性については特に問題にはならない。しかし実構造物への適用を考えた場合、マルチケーブル方式でスリーブは横向き状態でセットされることが多く、通常水平方向への充填となるため、流動性が良くなければならず、さらに材料分離が生じると、圧力分布が不均一になるため、本方法の特長であるソフトタッチで定着する利点が失われることが懸念される。本研究では単一緊張材に使用されている定着用膨張材をさらに改良して、マルチケーブル用として実構造物に適用できる定着用膨張材の開発を目的とし、流動性、分離抵抗性、膨張圧分布等について検討を行った。

2. 使用材料

(1) 定着用膨張材〔S-1〕(O社製：高温用)

酸化カルシウム(膨張成分)およびエーライト(硬化成分)を主成分とする。

(2) 定着用膨張材〔S-2〕(O社製：大孔径用)

大孔径用にも使用できるように、S-1の水和発熱を抑制したもの。

(3) 増粘剤(セルロース系：S社製)

(4) 流動化剤(メラミン系：K社製)

(5) 連続繊維緊張材：CFRPストランド

(φ12.5 mm, 東京製綱社製)

今回は後述の2種類の定着体を使用した、それぞれ

*1 小野田セメント(株)建設材料研究所、主席研究員(正会員)

*2 長崎大学助教授 工学部構造工学科、工博(正会員)

*3 (株)小野田開発研究所

*4 小野田セメント(株)建設材料研究所

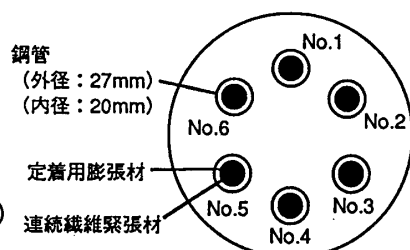


図-1 マルチホールタイプ定着体(定着体1)の概要(断面図)

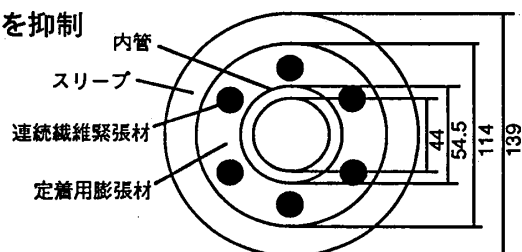


図-2 ドーナツホールタイプ定着体(定着体2)の概要(断面図)

充填量が異なるので噴出現象防止の観点から異なる2種類の定着用膨張材をベースに検討した。

3. マルチケーブル用定着体

定着体については、種々提案されているが、今回は下記の2種類について検討した。

(1) マルチホールタイプ定着体(定着体1)

図-1に示すように、FRP 緊張材を個々に独立した6個の孔中に挿入し、両端を固定した後、ヘッド圧を利用して、下部の孔から順次上部の孔へ一筆書きの要領で定着用膨張材を充填する。今回の実験では、この孔を模した6本の鋼管で置き換えている。なお、定着体の長さは250mmとした。

(2) ドーナツホールタイプ定着体(定着体2)

図-2に示すように、膨張圧を拘束するためのスリーブ(外管)とテンションバーを挿入するための内管との間に緊張材を等間隔にあけてセットしたものである。充填は、マルチホールタイプと同様にヘッド圧を利用して、下部から上部へ充填する。定着体の長さは250mmとした。

4. 試験項目および試験方法

4. 1 分離抵抗性試験および流動性試験

(1) ブリージング試験：分離抵抗性の指標として、土木学会基準「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法」に準じて実施した。

(2) フロー試験：JASSI5M-103「セルフレベリング材の品質基準」による

(3) Jロート試験：土木学会規準「PCグラウト試験方法」による

(4) 実物モデル注入試験：マルチホール定着体を想定し、アクリルパイプを用いて筆者らが考案した注入試験装置を使用した。(写真-1)

4. 2 膨張圧試験

(1) 定着体1：鋼管の上部、下部(一部は左右にも)にひずみゲージ(クロスゲージ)を貼付し、厚肉円筒理論式により膨張圧を測定した。また、比較のため同一の鋼管に定着用膨張材S-1を垂直方向に充填した時の膨張圧も測定した。

(2) 定着体2：定着体の上下(一部は左右にも)にフラッシュダイヤフラム型圧力計(東京測器研究所社製PWF-500)を設置し直接膨張圧を測定した。

4. 3 温度測定試験

CC熱電対を用いて、定着体1については、鋼管の表面に2箇所、定着体2については、表面と定着用膨張材内部の温度を測定した。

なお、試験はすべて25℃恒温室内にて実施し、材料温度、水温、養生温度とも25℃とした。

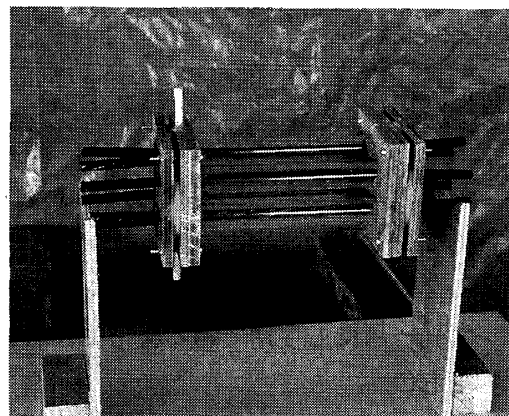


写真-1 実物モデル注入試験装置

5. 試験結果および考察

5. 1 分離抵抗性試験および流動性試験結果

(1) 増粘剤および流動化剤の最適添加量の決定

まず、定着用膨張材の流動性、分離抵抗性を高めるため、S-1に増粘剤、流動化剤を添加し

て、ブリージング率、フロー試験を実施し、増粘剤、流動化剤の最適添加量を検討した。なお、水/膨張材比は27%とした。試験結果を図-3および図-4に示す。

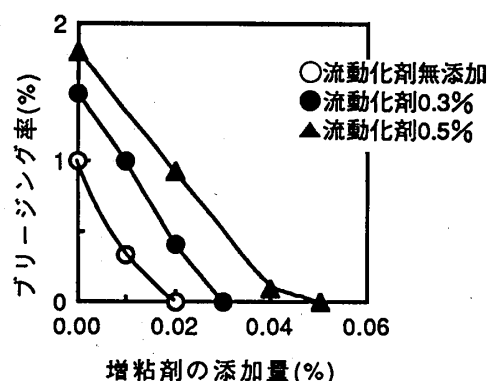


図-3 増粘剤および流動化剤添加量とブリージング率との関係

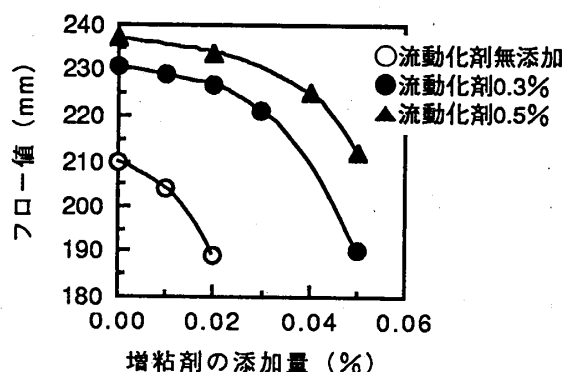


図-4 増粘剤および流動化剤添加量とフロー値との関係

S-1 単独では、ブリージングが約1%生じるが、増粘剤を添加することにより、ブリージング率は減少する。また、増粘剤が増加するにしたがい、フロー値が小さくなる傾向がある。したがって、ブリージングを防止して、かつ流動性を確保するためには、増粘剤と流動化剤を併用しなければならない。一応の目安として、ブリージング率が0%、フロー値が200mm以上必要とすると、図より最適添加量は、流動化剤が0.3%の場合、増粘剤は0.03%、流動化剤が0.5%の場合は、増粘剤は0.05%であるが、流動化剤および増粘剤は反応遅延剤として働くため、添加量なるべく少なくした方がよい。したがって、増粘剤および流動化剤の最適添加量はそれぞれS-1に対して0.03%、0.3%程度と考えられる。

S-2 についても同様の試験を実施した結果、増粘剤、流動化剤の最適添加量はそれぞれ0.01%、0.5%であった。

以後、表-1にしめす配合および試験水準にしたがって試験を実施した。なお、表中のM-1はS-1の分離抵抗性および流動性を改善したものであり、M-2はS-2の分離抵抗性、流動性を改善したものである。

表-1 定着用膨張材の配合及び試験水準

試料名	S-1	S-2	増粘剤	流動化剤	水	流動性試験	膨張圧試験 (含温度測定)
S-1	100	0	0	0	27	実施	定着体1
M-1	100	0	0.03	0.3	26.5	実施	定着体1, 定着体2
M-2	0	100	0.01	0.5	27	実施	定着体2

注1) 配合は重量比, 注2) 流動性試験はフロー試験, Jロート試験, 実物モデル注入試験

(2) 流動性試験および分離状況

表-2にJロート試験結果、フロー試験結果およびアクリルパイプを用いた実物モデルの注入に要した時間を示す。

表-2 流動性試験結果

試料名	フロー値 (mm)	Jロート流下 時間(秒)	実物モデル注入 所要時間(秒)
S-1	210	21.2	199
M-1	220	28.0	179
M-2	215	31.0	196

表より、M-1、M-2ともS-1と比較して流動性が改善されているのが確認された。また実物モデル注入試験において、充填終了10分後に分離状況を観察したところ、S-1には上部に

ブリージングが見られたが、M-1, M-2とも増粘剤の分離抑制効果のため、全くブリージングが見られずほとんど分離していないことが観察された。実物モデルの充填に要した時間と、フロー値およびJロート流下時間との関係を図-5に示すが、注入の容易さを示す指標としては、Jロート流下時間よりもフロー値の方が相関が強いと考えられる。したがって、充填性の判定はフロー値により管理するのが望ましく、注入試験結果よりフロー値は200mm以上が適当であると思われる。

5. 2 膨張圧試験

文献1)の実験結果から、CFRPストランドと定着用膨張材間の引き抜き耐力と膨張圧との関係式が求められている。いま、定着長250mmとした場合のCFRPロッドが破断するまでの必要膨張圧は330 kgf/cm²となる。したがって、本定着用膨張材も330 kgf/cm²以上の膨張圧が要求される。

図-6にS-1およびM-1について定着体1における数個の鋼管の円周方向のひずみが鋼管の上下左右でどのように変化しているかを示す。なお鋼管のNoは図-1の鋼管Noに対応する。

S-1は、上下のひずみ分布にバラツキがみられる。また、筆者らが定着用膨張材常温用（O社製）で同様の試験を実施した結果を参考までに図-7に示すが、状況によっては上部には圧縮のひずみが発生し、見かけ上負の膨張圧が発生していることもある。この理由は、S-1が分離することにより、上部の膨張材濃度が減少するため膨張圧が上部で低下することになり、それにともない圧力分布が不均等になり、左右に鋼管が変形し、鋼管に曲げ応力が作用するため、上部のひずみが負になったものと推定される。もし、定着用膨張材の圧力分布が不均一になると、本方法の特長であるソフトタッチで定着する利点が失われる懸念があるばかりでなく、定着体へ不均一な力がかかることになり、定着体の設計が困難になることも考えられるので、膨張圧は均等に分布することが望ましい。

一方、M-1は膨張圧のバラツキが小さく比較的均等に膨張圧が働いているのが確認された。ま

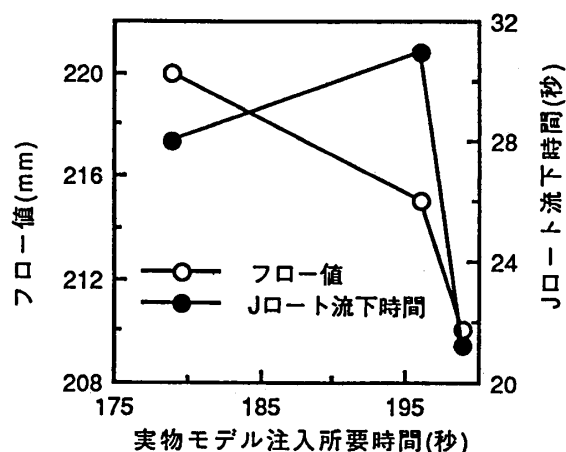


図-5 実物モデル注入所要時間とJロートおよびフロー値との関係

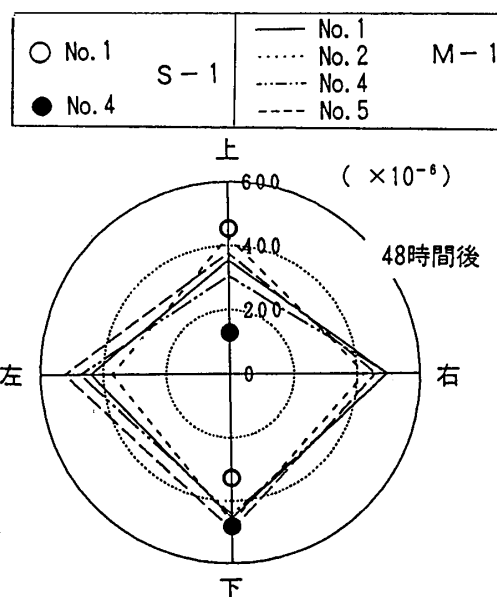


図-6 定着体1における鋼管円周方向のひずみ分布 (S-1, M-1)

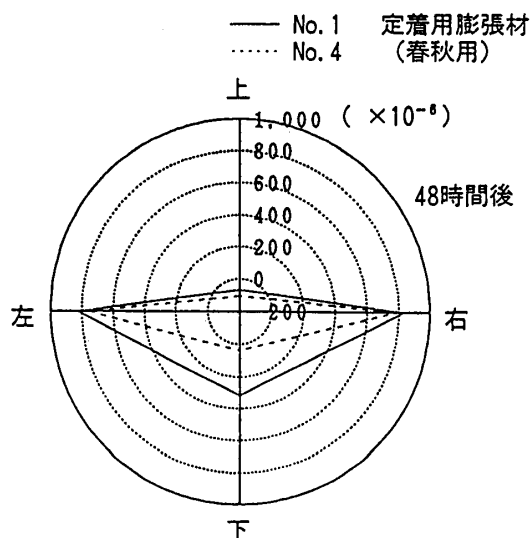


図-7 定着体1における鋼管円周方向のひずみ分布 (定着用膨張材春秋用)

た、比較のためS-1を用いて、垂直方向に充填したもののについては、図-8に示すように円周方向のひずみの差はそれほど見られなかった。このことはS-1を垂直方向へ充填した場合、鋼管の高さがブリージング部分にたいして十分にあるので、ブリージングの影響はほとんど受けないが水平方向に充填した場合、ブリージング部分に対して高さが十分でないため、ブリージングの影響が大きくなることを示している。特に充填孔径が小さくなれば、このことが顕著になることが予想される。

それぞれの鋼管に貼付したひずみゲージのひずみを平均して、膨張圧を求めると、図-9の通りとなり、S-1と比較してM-1は分離が生じないためか、膨張圧はやや大きくなることが確認された。

定着体2は、膨張材の使用量が多いため、後述する噴出現象防止の観点から、M-1とともに、水和発熱を抑制したS-2を改良した定着用膨張材M-2についても試験を実施した。図-10にそれぞれの定着用膨張材を使用した時の定着体2に作用する膨張圧の経時変化を示すが両方の定着用膨張材とも分離抵抗性を具備しているため、上下の圧力分布に偏りは見られない。また、膨張圧も目標の330 kgf/cm²以上発現していることが確認された。

5. 3 温度測定結果

マルチケーブル用としての定着用膨張材は、膨張材を多量に使用するため、膨張材の水和発熱により生じた熱が周囲に拡散せず、スラリー内部に蓄積されると、反応が急激に進み、スラリーの自由水が水蒸気化し、その蒸気圧によりスラリーが注入孔から激しく噴出するいわゆる噴出現象を生じる懸念がある³⁾。したがって、内部温度は極力低くすることが望ましい。

定着体1および定着体2の温度測定結果を図-11および図-12に示す。定着体1は鋼管が個々に独立しているため、S-1およびそれを改良したM-1の最高温度は30℃以下でほとんど発熱は認められず、極めて安全性が高いことが判明した。

一方、定着体2は膨張材使用量が多いため、定着体1より最高温度は高くなり、M-1では、48

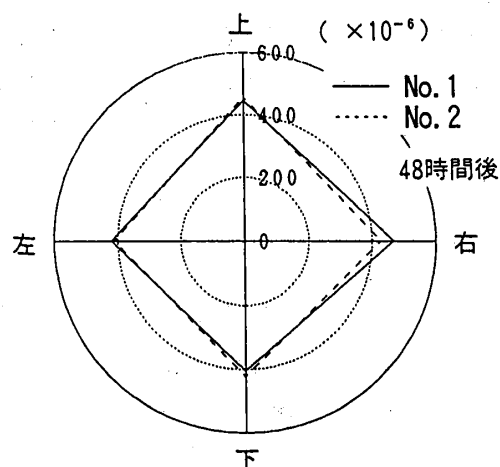


図-8 垂直方向充填の場合の鋼管円周方向のひずみ分布 (S-1)

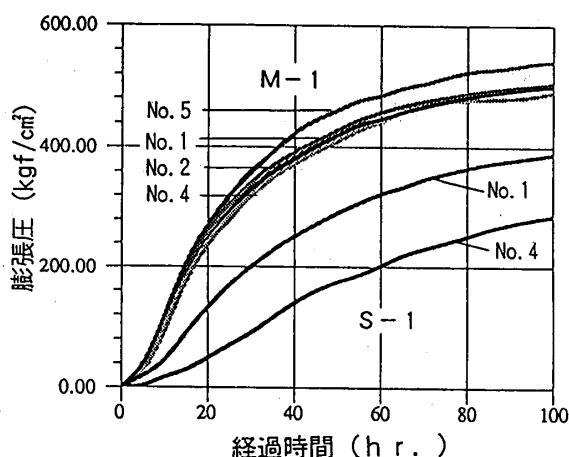


図-9 定着体1における膨張圧経時変化 (S-1, M-1)

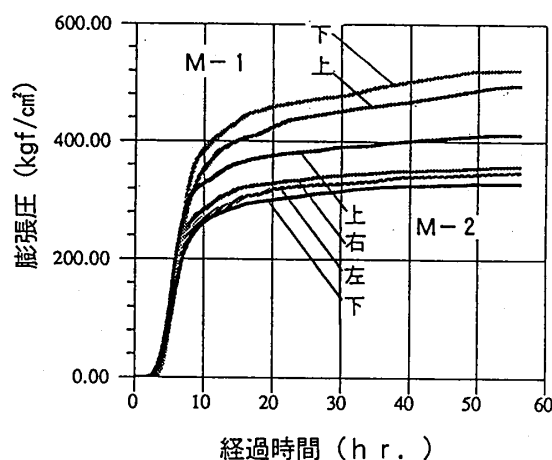


図-10 定着体2における膨張圧経時変化 (M-1, M-2)

℃, M-2 では43℃となっているが、噴出現象の危険性のないことが確認された。しかしながら、本試験は25℃の結果であり、さらに環境温度が高くなった場合、M-2の方がより安全であると考えられる。

6. まとめ

(1) マルチケーブル用としての定着用膨張材は、鋼管を水平にした状態で充填されるため分離抵抗性および流動性が要求されるが、従来の定着用膨張材を単独で使用情况、ブリージングを生じるが、増粘剤および流動化剤を適量添加することにより分離を防止しかつ流動性を確保できることが確認された。

(2) マルチケーブル用としての定着用膨張材の流動性を評価する場合、Jロートの流下時間よりもむしろフロー値によって評価した方がよい。

(3) マルチホールタイプ定着体において従来の定着用膨張材を使用した場合、材料分離のため鋼管の圧力分布にバラツキを生じるが、マルチケーブル用としての定着用膨張材を使用することにより、圧力分布にバラツキを生じることなく、高膨張圧を発現できることが明らかとなった。また、最高温度も30℃以下で安全性に問題はなく、マルチケーブル用定着用膨張材として十分使用可能であると考えられる。

(4) マルチケーブル用としての定着用膨張材 (M-1, M-2) を使用することにより、ドーナツホールタイプ定着体において、圧力分布のバラツキを生じることなく高膨張圧を発現できることが確認された。また、最高温度が50℃以下となっているので、十分マルチケーブル用としての定着用膨張材として実構造物に適用できると考えられる。

参考文献

- 1) 原田哲夫, 出光隆, 渡辺明, 高山俊一: 静的破碎剤を用いたFRP 緊張材の定着方法, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 251 ~256, 1990年10月.
- 2) 原田哲夫, ミョーキン, 樋野勝巳, 徳光卓: 定着用膨張材を用いた連続繊維緊張材マルチケーブルの定着法, 第3回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 285~ 290, 1992年11月.
- 3) 副田孝一: 静的破碎剤, 建設機械, vol. 25, No. 10, pp. 45 ~51, 1989.

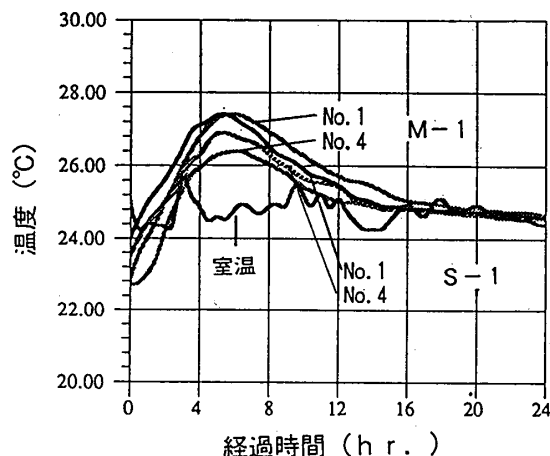


図-11 定着体 1 における温度変化 (S-1, M-1)

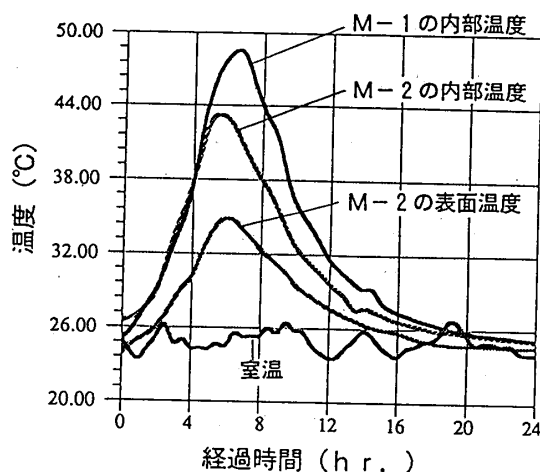


図-12 定着体 2 における温度変化