

総合技術開発プロジェクト
建設事業への新素材・新材料
利用技術の開発

—FRP緊張材を用いた
プレストレストコンクリート道路橋の
設計・施工指針（案）—

平成6年3月

建	設	省	土	木	研	究	所
構	造	橋	梁	部	橋	梁	研
（株）		大		林		組	
オ	リ	エ	ン	タ	ル	建	設
五		洋		建		設	（株）
清		水		建		設	（株）
住		友		建		設	（株）
（株）		竹	中	工		務	店
（株）		竹	中			土	木
日	本	鋼	弦	コ	ン	ク	リ
（株）		ピ	ー			・	エ
三		井		建		設	（株）

Copyright © (1994) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成6年3月

研究	研究	土木	土部	省梁	設橋	建造	建構
(株)	(株)	(株)	(株)	(株)	(株)	(株)	(株)
所室組	建設	橋林	大ン	エ洋水友	リ	オ五清住	才五清住
(株)	(株)	ル	タ建建	竹竹弦	本	(株)	(株)
(株)	務土一ト	工ク・	中ン建	鋼ビ井		日(株)	三
(株)	設						
店木ス							
(株)							

コンクリート構造物の塩害による劣化損傷を防ぐ方法の一つとして、鋼材の代わりに腐食を生じない材料を用いる方法が挙げられる。FRP (Fiber Reinforced Plastics) 補強材は、鋼材の欠点である腐食を生じないことに加えて、従来の鋼材からなる緊張材と同等もしくはそれ以上の強度を有し、また軽量である等の特徴を有している。

本研究では、このようなFRP補強材の特徴に着目し、平成元年度から4年度にわたって建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の一環として、PC橋の緊張材としてこれを利用するための技術を開発しようとするものである。

本報告書は、PC 橋の緊張材へ新素材を利用するための指針（案）をとりまとめたものである。

キーワード：指針、FRP、PC橋、緊張材、鋼材、腐食、塩害

ま え が き

最近の材料技術の発展はめざましいものがあり、これまでにない優れた性能や機能をもった新材料が次々と開発されている。これらは一部実用化されエレクトロニクス、自動車、レジャー、宇宙、航空などの分野で用いられている。建設分野においても土、木、石、鋼、コンクリートなどの基本材料は変わらないが、徐々にではあるが新素材、新材料が利用され始めている。これらの材料は、施工の合理化、アメニティや高耐久性などの多様な社会的ニーズに寄与できるものと期待されている。

建設省においても今後の社会資本の整備にあたり、重要な技術開発課題として維持管理・更新費の削減のための技術開発を取り上げ、種々の推進方策を講じている。平成元年度から4年度にわたって実施した建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」では、新素材としてFRP補強材に注目し、「PC橋の緊張材への新素材の利用に関する研究」を建設省土木研究所と民間会社10社による官民共同研究として実施した。本研究は、CFRP、AFRPなどの高強度、化学的安定性などの優れた性質を生かして塩害地域など苛酷な環境下において使用されるプレストレストコンクリート道路橋において活用することを目標としたものである。

本設計・施工指針（案）は、上記の研究成果をもとにとりまとめたものであり、今後、特定技術活用パイロット事業等においてガイドラインとして用いられることを意図している。したがって、経験を積み重ねる中で随時改定されるべきたたき台としての性格を有しており、決して最終的な指針ではないことに留意されたい。また、個々の規定がどのような観点から定められたかについて明確にするため、解説を示したので、合わせて参考にされたい。本設計・施工指針（案）が、早期の実績の蓄積を促し、高い安全性と耐久性を有する新しい時代の橋梁の実用化に寄与するよう念願してやまない。

平成6年3月

共同研究者名簿

藤原 稔 (建設省 土木研究所 構造橋梁部)
西川 和廣 (" " " 橋梁研究室)
箕作 光一 (現 国土庁 地方振興局)
神田 昌幸 (建設省 土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室)
杉山 純 (現 建設省 首都国道工事事務所)
内田 賢一 (建設省 土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室)
淵上 優子 (" " " ")
清水 俊一 (" " " ")

古賀 政二郎 ((株)大林組)

伊奈 義直 (")

岡野 素之 (")

近藤 順 (オリエンタル建設(株))

手塚 正道 (")

今井 昌文 (")

内藤 英晴 (五洋建設(株))

浜崎 勝利 (")

山口 憲司 (")

三藤 重剛 (清水建設(株))

武川 芳広 (")

日原 邦夫 (")

迎 邦博 (住友建設(株))

熊谷 紳一郎 (")

中井 裕司 (")

吉岡 保彦 ((株)竹中工務店)

大野 定俊 (")

柿沢 忠弘 (")

神崎 靖 ((株)竹中土木) 代表取締役社長
 伊藤 孔一 (") 代表取締役社長
 安藤慎一郎 (") 代表取締役社長
 中條 友義 (日本鋼弦コンクリート(株)) 代表取締役社長
 飯泉 章 ((株)東上建設(株)) 代表取締役社長
 東山 博明 ((株)東上建設(株)) 代表取締役社長
 原 千里 ((株)ピー・エス) 代表取締役社長
 川本 幸広 (") 代表取締役社長
 鈴木 雅博 (") 代表取締役社長
 田村 富雄 (三井建設(株)) 代表取締役社長
 三上 浩 (") 代表取締役社長
 中島 規道 (") 代表取締役社長
 ※所属は、平成5年8月31日現在

((株)東上建設) 代表取締役
 (") 代表取締役
 (") 代表取締役

((株)東上建設) 代表取締役
 (") 代表取締役
 (") 代表取締役

((株)東上建設) 代表取締役
 (") 代表取締役
 (") 代表取締役

((株)東上建設(株)) 代表取締役
 (") 代表取締役
 (") 代表取締役

目 次

第1章 総則	1
1. 1 適用の範囲	1
1. 2 用語の定義	2
1. 3 記号の説明	4
第2章 使用材料	5
2. 1 FRP 緊張材	5
2. 1. 1 FRP 緊張材の形状・寸法	5
2. 1. 2 FRP 緊張材の設計基準値	7
2. 2 定着具および接続具	9
2. 2. 1 定着具および接続方法	9
2. 2. 2 定着具の設計基準値	10
2. 3 シース	11
2. 3. 1 シースの材質	11
2. 3. 2 シースの形状・寸法	12
2. 4 鋼材, その他	13
第3章 設計計算に関する一般事項	14
3. 1 設計計算の原則	14
3. 2 プレストレス力	15
3. 3 曲げモーメントおよび軸方向力に対する照査	18
3. 3. 1 設計荷重作用時の照査	19
3. 3. 2 終局荷重作用時の照査	20
3. 4 せん断力に対する照査	25
3. 4. 1 設計荷重作用時の照査	25
3. 4. 2 終局荷重作用時の照査	26
3. 5 ねじりモーメントに対する照査	27
3. 5. 1 設計荷重作用時の照査	27
3. 5. 2 終局荷重作用時の照査	28
第4章 許容応力度	28
4. 1 一般	28

4. 2	コンクリートの許容応力度	29
4. 3	鉄筋の許容応力度	31
4. 4	FRP 緊張材の許容応力度	32
第5章 構造細目		
5. 1	最小補強材量	33
5. 2	FRP 補強材の配置	34
5. 3	FRP 緊張材の定着部	35
第6章 施工		
6. 1	適用の範囲	36
6. 2	材料の取扱い	36
6. 2. 1	FRP 緊張材	36
6. 2. 2	定着具および接続具	37
6. 2. 3	シーす	38
6. 3	コンクリートの施工	38
6. 3. 1	締固め	38
6. 3. 2	養生	38
6. 4	プレストレッシング	38
6. 4. 1	一般	38
6. 4. 2	プレストレッシング時のコンクリートの圧縮強度	39
6. 4. 3	プレテンション方式	39
6. 4. 4	ポストテンション方式	39
6. 4. 5	細則	41
6. 4. 6	プレストレッシングの管理	41
6. 5	グラウトの施工	42
6. 5. 1	一般	42
第7章 品質管理		
7. 1	一般	43
7. 2	試験による管理	43
7. 2. 1	試験方法	43
7. 2. 2	FRP 緊張材の試験	43
7. 2. 3	定着具及び接続具の試験	44
7. 2. 4	シーすの試験	45

資料編

1. その他の緊張材	49
2. 定着具寸法	51
3. 材料試験方法 (例).....	55

1 章 総 則

1. 1 適用の範囲

本指針（案）は、FRP 補強材を緊張材として用いるプレストレストコンクリート道路橋に適用する。

本指針（案）は、FRP（Fiber Reinforced Plastics）補強材を緊張材として用いるプレテンション方式およびポストテンション方式のプレストレストコンクリート道路橋を設計・施工する際に必要な事項について規定したものである。

炭素繊維等の新素材は、宇宙・航空の分野、自動車の分野などで利用されているが、土木・建築の分野でも既に短繊維が繊維補強コンクリートに混入されるなど利用され始めており、今後、活用範囲の一層の拡大が予想される。FRP 補強材は、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの新素材の連続繊維を樹脂と複合して作製したものであるが、鋼材の欠点である腐食を生じないことに加えて、従来の鋼材からなる緊張材と同等もしくはそれ以上の強度を有するとともに、軽量であるなどの特徴を有している。

海岸に近い地域や積雪時に凍結防止剤を散布する地域においては、コンクリート構造物の塩害による損傷が懸念されるが、FRP 補強材はその特性により、こうした条件下での耐久性に優れている。

FRP 補強材をコンクリート構造物に用いる場合、プレストレストコンクリートの緊張材として用いる方法（FRP 緊張材としての使用）と鉄筋の代替として用いる方法（FRP 筋としての使用）が考えられるが、引張領域で優れた強度特性を有する FRP 補強材の特長を有効に発揮させるためには、緊張力を与えて FRP 緊張材として用いるのが有利である。したがって、本指針（案）では FRP 補強材の緊張材としての使用を主に対象としており、鉄筋の代替としての使用は、補助的な記述にとどめた。FRP 緊張材は、腐食を生じない特徴を有しておりアンボンド方式あるいは外ケーブル方式で用いることも考えられるが、これらの方式で用いた場合問題となる FRP 緊張材の疲労特性、定着具および偏向具の性能、設計方法等について、未解明な部分があるため FRP 緊張材をこれらの方式で用いる場合は別途検討するものとする。

本指針（案）は、新素材に関する研究が発展途上の分野であるため、これまでの研究成果をもとに基本的な事項を規定したものである。したがって、今後の新しい技術開発や研究成果の蓄積によって、本指針（案）に加えるべき必要な事項について一層の検討を行うこととしている。

なお、本指針（案）に規定していない事項については、「道路橋示方書・同解説（（社）日本道路協会、平成6年2月）」によるものとする。

1. 2 用語の定義

この指針（案）で用いる用語の意味は次のとおりとする。

- (1) FRP 補強材……炭素繊維、アラミド繊維などの新素材の連続繊維を樹脂と複合して作製した FRP (Fiber Reinforced Plastics) で、コンクリートを補強するために使用する棒状のもの。
- (2) FRP 緊張材……FRP 補強材のうち、コンクリートにプレストレスを与えるため緊張力を与え緊張材としたもの。
- (3) FRP 筋……FRP 補強材のうち、緊張力を与えず鉄筋の代替として使用するもの。
- (4) 定着具……ポストテンション方式によるプレストレストコンクリートにおいて、引張力を与えた FRP 緊張材を硬化したコンクリートに固定するための器具。
- (5) 定着部……定着機能を発揮するプレストレストコンクリート部材の部分の総称。特にポストテンション方式においては定着具と定着により影響を受けるその周辺部分を示す。
- (6) 接続具……FRP 緊張材と FRP 緊張材あるいは定着具と定着具を接続するための器具。
- (7) シース……ダクトを形成するための鋼あるいはプラスチックからなる筒。
- (8) FRP 補強材の規格引張荷重……FRP 補強材製造メーカーの保証する引張荷重。
- (9) 純リラクセーション率……FRP 緊張材に引張力を与え、一定のひずみを保持した状態で時間の経過とともに応力が減少する現象を考慮した FRP 緊張材引張力の減少量を、最初に与えた FRP 緊張材引張力に対する百分率で表す値。
- (10) 見かけのリラクセーション率……FRP 緊張材に引張力を与え、一定のひずみを保持した状態で時間の経過とともに応力が減少する現象に、さらにプレストレストコンクリート部材のコンクリートの乾燥収縮、クリープなどによる影響を考慮した FRP 緊張材引張力の減少量を、最初に与えた FRP 緊張材引張力に対する百分率で表す値。
- (11) FRP 定着係数……使用する定着具の種類によりプレストレッシング中およびプレストレッシング直後において FRP 緊張材の規格引張強さに乗ずる係数。
- (12) あき……隣合って配置された鉄筋、FRP 筋、FRP 緊張材あるいはシースの純間隔。
- (13) かぶり……鉄筋、FRP 筋、FRP 緊張材あるいはシースの表面からコンクリート表面までの最短距離。
- (14) CFRP……炭素繊維からなる新素材の連続繊維を樹脂と複合して作製した FRP (Fiber Reinforced Plastics) で、コンクリートを補強するために使用する棒状のもの。本指針（案）では、PAN 系炭素繊維を用いたより線を CFRP (I)、ピッチ系炭素繊維を用いたロッドを CFRP (II) と呼ぶ。
- (15) AFRP……アラミド繊維からなる新素材の連続繊維を樹脂と複合して作製した FRP (Fiber Reinforced Plastics) で、コンクリートを補強するために使用する棒状のもの。本指針（案）では、パラ系アラミド繊維を用いた組紐状ロッドを AFRP (I)、パラ系アラミド繊維を用いた異形化ロッドを AFRP (II) と呼ぶ。

本指針（案）で用いる用語の意味を示した。ここに示されていない用語の意味は、「道路橋示方書・同解

説（（社）日本道路協会，平成6年2月）」と同じである。ただし，プレストレス，有効プレストレス，有効引張力，有効係数，定着具におけるセット量，ダクト，プレテンション方式，ポストテンション方式の各用語については道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編1.2「用語の定義」におけるそれぞれの意味のPC鋼材をFRP緊張材に置き換えた意味である。

1. 3 記号の説明

この指針（案）で用いる記号は次のとおりとする。

- (1) A_p : FRP 緊張材の断面積 (cm^2)
- (2) E_p : FRP 緊張材のヤング係数 (kgf/cm^2)
- (3) P_u : FRP 緊張材の規格引張荷重 (kgf)
- (4) σ_{pu} : FRP 緊張材の規格引張強さ (kgf/cm^2)
- (5) R : FRP 緊張材の規格引張強さの FRP 定着係数
- (6) μ : FRP 緊張材の角変化 1 ラジアン当たりの摩擦係数 ($/\text{RAD}$)
- (7) λ : FRP 緊張材の 1 m 当たりの摩擦係数 ($/\text{m}$)

本指針（案）では、「道路橋示方書・同解説（（社）日本道路協会，平成 6 年 2 月）」に用いられている記号を用いることを原則とし，ここでは，本指針（案）で用いる特殊な記号について示している。

2章 使用材料

2.1 FRP 緊張材

2.1.1 FRP 緊張材の形状・寸法

FRP 緊張材の形状・寸法は表-2.1 に示すものを標準とする。

表-2.1 FRP 緊張材の形状・寸法

繊維	種類	形状	呼び名	呼び径 (mm)	有効断面積 (mm ²)	単位重量 (kgf/m)
炭素	CFRP (I)	より線	12.5 mm 7本より	12.5	76.0	0.151
	CFRP (II)	丸径 ロッド	丸径 8mm	8	49.0	0.080
		異形 ロッド	異形 8mm	8	44.0	0.070
アラミド	AFRP (I)	組紐 ロッド	10.4 mm 組紐	10.4	85.0	0.108
	AFRP (II)	異形 ロッド	異形 6mm	6	28.3	0.041

表-2.1 に示す FRP 緊張材は、一般的に用いられているもので、官民共同研究の試験によってその性能が確認されているものである。したがって、これら以外の FRP 緊張材で、材料が表-2.1 と同一で、引張強さ等の性能が十分満足できるものについては、表-解 2.1 に示すものを用いることができる。なお、表-解 2.1 に示してあるものは、主としてプレテンション方式に用いられる FRP 緊張材で、ポストテンション方式に用いられる FRP 緊張材については、表-解 2.3 に示してある。

表一解 2.1 FRP 緊張材の形状・寸法（プレテンション方式）

繊維	種類	形状	呼び名	呼び径 (mm)	有効断面積 (mm ²)	単位重量 (kgf/m)
炭 素	CFRP (I)	より線	7.5mm 7本より	7.5	30.4	0.064
			10.5mm 7本より	10.5	55.7	0.114
			12.5mm 7本より	12.5	76.0	0.151
			15.2mm 7本より	15.2	113.6	0.226
			17.8mm 7本より	17.8	154.9	0.31
	CFRP (II)	異形 ロッド	8mm 異形	8	44.0	0.07
		インデン ティッド ロッド束	2φ8mm インデンティッド	16	92.9	0.154
			3φ8mm インデンティッド	20	138.3	0.231
			5φ8mm インデンティッド	25	230.5	0.385
アラ ミ ド	AFRP (I)	組紐 ロッド	10.4mm 組紐	10.4	85	0.108
			12.7mm 組紐	12.7	127	0.162
			14.7mm 組紐	14.7	170	0.216
			18.0mm 組紐	18.0	254	0.324
	AFRP (II)	異形 ロッド	φ6	6.0	28.3	0.041
			φ7.4	7.4	42.4	0.062
		異形 ロッド 束	3φ6	16.0	84.9	0.123
			4φ6	20.0	113.2	0.164
			7φ6	30.0	197.4	0.287
			2φ7.4	20.0	84.8	0.124
			3φ7.4	25.0	127.2	0.186

2. 1. 2 FRP 緊張材の設計基準値

設計計算に用いる場合の FRP 緊張材の引張強さ，ヤング係数，純リクラセーション率，線膨張係数の諸数値は表-2.2 に示す値を標準とする。

表-2.2 FRP 緊張材の設計基準値

繊維	種 類	規格引張強さ (kgf/mm ²)	ヤング係数 (kgf/mm ²)	※純リクラセーション率(%)	線膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
炭 素	CFRP(I)	191	14000	5.0	0.6
	CFRP(II)	157	15000	5.8	0.7
アラミド	AFRP(I)	141	7000	8.1	-5.2
	AFRP(II)	180	5400	11.4	-3.0

※純リクラセーション率は 2000 時間の値

表-2.2 に示す値は，材料によるばらつき等を考慮して，設計上の安全性を含めて定めた設計基準値である。表中の規格引張強さは，標準値であり，FRP 緊張材の形状または径により値が異なるので，設計計算にあたっては，表-解 2.2 に示す値を用いてよい。

表一解 2.2 FRP 緊張材の規格引張荷重 (プレテンション方式)

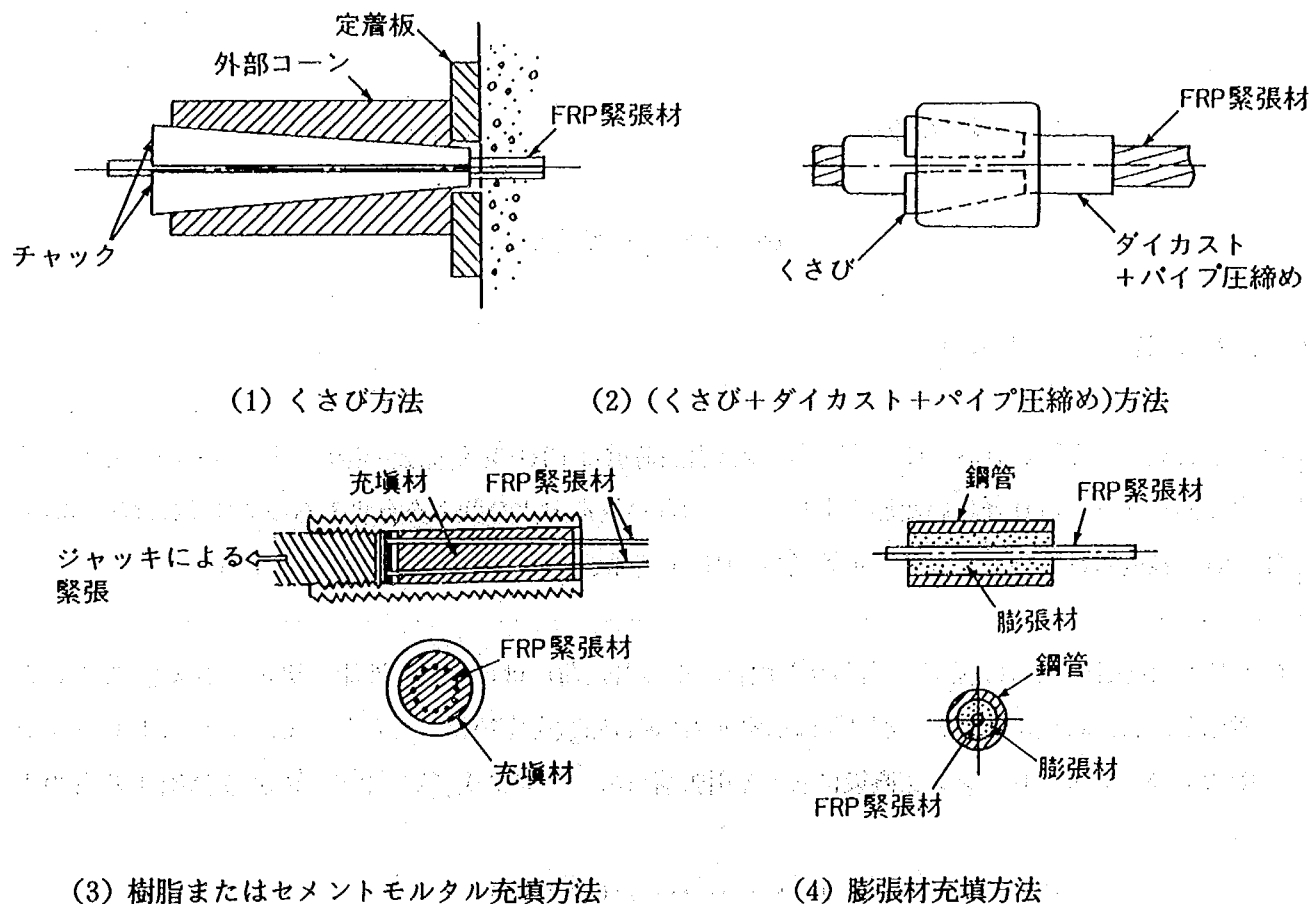
繊維	種 類	形 状	呼び名	有効断面積 (mm ²)	規格引張荷重 (tf)	引張強さ (kgf/mm ²)
炭 素	CFRP (I)	より線	7.5mm 7本より	30.4	5.80	191
			10.5mm 7本より	55.7	10.64	191
			12.5mm 7本より	76.0	14.52	191
			15.2mm 7本より	113.6	20.30	179
			17.8mm 7本より	154.9	27.70	179
	CFRP (II)	異形 ロッド	8mm 異形	44.0	6.91	157
		インデン ティッド ロッド束	2φ8mm インデンティッド	92.9	20.0	217
			3φ8mm インデンティッド	138.3	30.0	217
			5φ8mm インデンティッド	230.5	50.0	217
アラミド	AFRP (I)	組 紐 ロッド	10.4mm 組紐	85	12.0	141
			12.7mm 組紐	127	18.0	141
			14.7mm 組紐	170	24.0	141
			18.0mm 組紐	254	35.0	138
	AFRP (II)	異形 ロッド	φ6	28.3	5.10	180
			φ7.4	42.4	7.60	180
		異形 ロッド 束	3φ6	84.9	15.30	180
			4φ6	113.2	20.40	180
			7φ6	197.4	35.60	180
			2φ7.4	84.8	15.20	180
			3φ7.4	127.2	22.80	180

2. 2 定着具および接続具

2. 2. 1 定着および接続方法

定着具および接続具には種々の方法があり、設計・施工に際しては適当なものを選ぶものとする。

定着方法について図一解 2.1 に示す。ここに示している定着具は、FRP 緊張材用として一般的に用いられているものである。



図一解 2.1 定着方法

接続方法について図一解 2.2 に示す。接続具として、定着具の外筒管（スリーブ）の外側にねじを設け、図一解 2.2 に示すカップラー（コネクター）により FRP 緊張材を接続する方法がある。

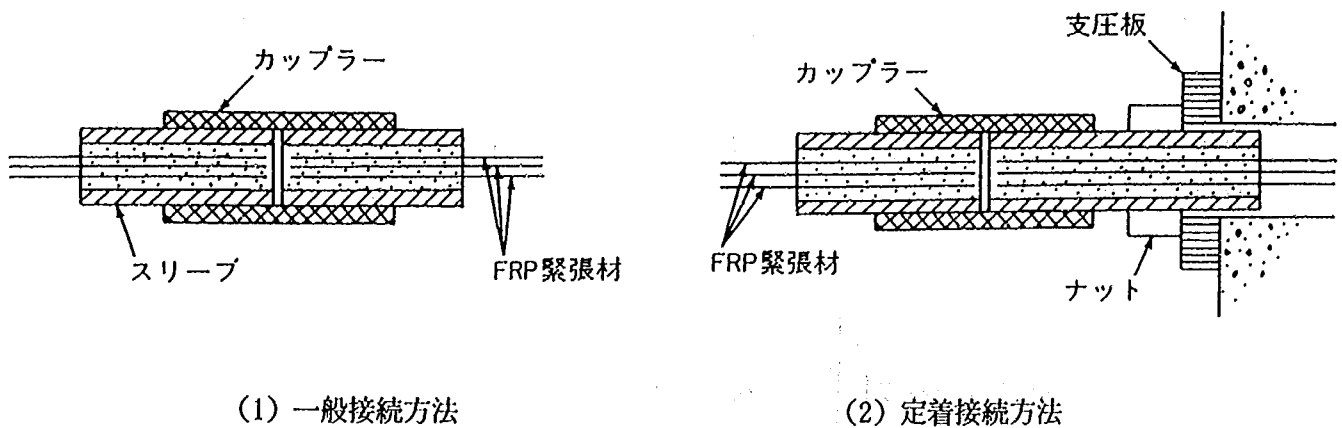


図-解 2.2 接続方法

2. 2. 2 定着具の設計基準値

- (1) 定着具は、定着される FRP 緊張材の規格引張荷重と FRP 定着係数の積が、引張荷重の 95% に達する前に破壊したり著しい変形を生じることのない構造および強さを有するものでなければならない。
- (2) 責任技術者は試験によって、定着具の FRP 定着係数を定めることを、原則とする。

- (1) FRP 緊張材と定着具を組み合わせた場合、その引張荷重は定着具の性能で決定される。このことを考慮し、各定着具に対し表-解 2.3 に示す FRP 定着係数を定めた。したがって、プレストレッシング中およびプレストレッシング直後における引張荷重については式 (解 2.2.1) により算出するものとする。

$$P_{tu} = R \cdot N \cdot A_p \cdot \sigma_{pu} \dots \dots \dots (\text{解 2.2.1})$$

ここに、 P_{tu} : プレストレッシング中およびプレストレッシング直後における引張荷重 (kgf)

N : FRP 緊張材の本数

表-解 2.3 に示されている定着具は試験により FRP 定着係数が確認されており、使用に当たっては試験を省略してよい。また、定着具の性能が改良され、試験によってその引張荷重が確認されたものについては、FRP 定着係数を引き上げることができる。表-解 2.4 に示されるように、官民共同研究の試験後、FRP 定着係数が、改良されているものもある。なお、官民共同研究の試験で用いた FRP 緊張材および表-解 2.3 に示す以外の FRP 緊張材について、参考として資料表-1 に記載する。

- (2) FRP 定着係数を定める試験は、土木学会基準「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法(案)」が定められているので、これに準拠することとする。

表一解 2.3 FRP の定着係数 (ポストテンション方式)

繊維	種 類	形 状	FRP 緊張材 呼び名	呼び径 (mm)	方 式	FRP 緊張材構成	定着方法	FRP 定着係 数 R	引張 荷重 (tf)	有効断 面積 (mm ²)
炭 素	CFRP (I)	より線	12.5mm 7本より	12.5	マルチ	6-φ12.5	くさび	0.83	72.3	456.0
	CFRP (II)	丸 径 ロッド	8mm 丸径	R8	マルチ	8-R8	くさび	0.57	35.1	392.0
アラ ミ ド	AFRP (I)	組 紐 ロッド	12.0mm 組紐	12.0	マルチ	6-φ12.0	くさび	0.58	40.4	540.0
	AFRP (II)	異 形 ロッド束	7φ6	30	マルチ	7-φ6	モルタル 充 填	1.00	35.6	197.4

表一解 2.4 FRP の定着係数 (改良後)

繊維	種 類	形 状	FRP 緊張材 呼び名	呼び径 (mm)	方 式	FRP 緊張材構成	定着方法	FRP 定着係 数 R	引張 荷重 (tf)	有効断 面積 (mm ²)
アラミド	AFRP (I)	組 紐 ロッド	12.7mm 組紐	12.7	マルチ	6-φ12.7	くさび	1.0	108.0	762

2. 3 シース

シースは、その取扱中あるいはコンクリートの打込みのとき、容易に変形しないものであって、その合わせ目、継目などからセメントペーストが入り込まないようにしなければならない。

2. 3. 1 シースの材質

鋼製シースは、JIS G 3141「冷間圧延鋼板および鋼帯」SPCCに適合したものを用いることを、原則とする。

波付き硬質ポリエチレン管を用いる場合は JIS C 3653 管路引き入れ式の管に適合したものを用いる。

2. 3. 2 シースの形状・寸法

シースは FRP 緊張材の大きさに応じて図-2.2 に示す形状で表-2.3 に示す径のものを用いる。

表-2.3 鋼製シースの寸法 (単位: mm)

呼び径	内径 ϕ	外径 D	呼び径	内径 ϕ	外径 D
20	20	22.5	70	70	73
23	23	22.5	72	72	75
28	28	30.5	75	75	78
30	30	33	80	80	83
32	32	35	85	85	88
38	38	41	90	90	93
40	40	43	95	95	98
42	42	45	100	100	103
45	45	48	105	105	108
50	50	53	110	110	113
52	52	55	115	115	118
55	55	58	120	120	123
60	60	63	125	125	128
65	65	68			

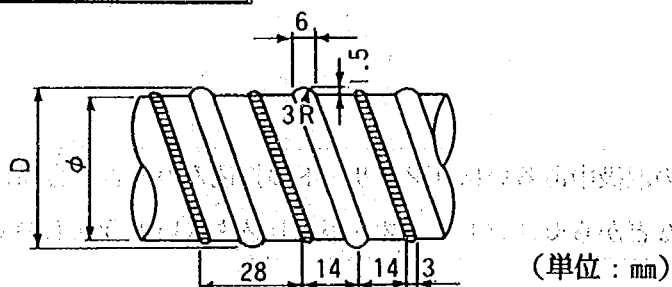


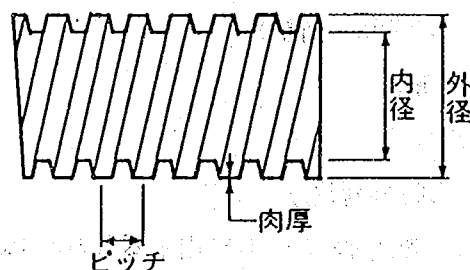
図-2.2 鋼製シースの形状

シースとして耐腐食性の波付き硬質ポリエチレン管を用いることができる。その形状を図-解 2.3 に、径を表-解 2.5 に示す。

表一解 2.5 波付き硬質ポリエチレン管シースの寸法 ※

呼び径 (mm)	外径 (mm)	内径 (mm)	肉厚 (mm)	ピッチ (mm)	重量 (kgf/m)
30	40	30	1.5	10	0.2
40	54	40	1.5	13	0.3
50	65	50	1.7	17	0.4
65	85	65	1.9	21	0.6
80	102	80	2.1	25	0.8
100	130	100	2.2	32	1.1
125	160	125	2.4	39	1.5
150	188	150	2.8	47	2.0
200	252	200	3.5	55	3.5

※寸法には若干の差異が生じることがある。



図一解 2.3 波付き硬質ポリエチレン管シースの形状

2.4 鉄筋, その他

鉄筋は、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることを原則とする。

FRP 緊張材を用いる橋梁の環境は、コンクリート構造物の耐久性、耐候性が要求されるところが多いので、PC 橋にスターラップ、引張鉄筋、用心鉄筋等を用いる場合は、エポキシ樹脂塗装鉄筋のように耐腐食性のある材料を原則として使用する。エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用にあたっては、土木学会制定の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)」に規定されているのでこれによるものとする。また、鉄筋の代替として FRP 筋を用いることもできるが、この場合、試験等によりその安全性が十分に確認されているものを用いなければならない。

3 章 設計計算に関する一般事項

3. 1 設計計算の原則

- (1) 部材の設計にあたっては、原則として設計荷重作用時および終局荷重作用時に対してそれぞれ部材断面の応力度などを照査し、部材が安全であることを確かめなければならない。
- (2) (1) 項に規定する設計荷重作用時および終局荷重作用時の荷重の組合せは、それぞれ次のとおりとする。
- 1) 設計荷重作用時の荷重の組合せは、道路橋示方書 I 共通編 2.2 に規定する荷重の組合せとする。
 - 2) 終局荷重作用時の荷重の組合せは、次のとおりとする。
 - (a) $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
 - (b) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
 - (c) $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重} + \text{衝撃})$
 - (d) $1.3 \times (\text{死荷重} + \text{地震の影響})$
 - (e) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 1.3 \times (\text{地震の影響})$
- (3) 部材の設計に用いる断面力は、弾性理論により算出するものとする。この場合部材の曲げ剛性、せん断剛性およびねじり剛性は、コンクリートの全断面を有効とし、FRP 補強材、鋼材を無視して算出した値を用いることができる。

- (1) 設計荷重作用時において、部材断面の応力度は許容応力度以下とする必要がある。また、設計荷重よりも大きな荷重を想定した終局荷重作用時において、部材を破壊させないようにする必要がある。応力度などの照査とは、この 2 つの条件が部材において満足されるかどうかを照査することである。
- (2) 1) 設計荷重作用時には、道路橋示方書 I 共通編 2.2 に規定する荷重の組合せについて部材断面の応力度の照査を行わなければならない。なお、プレストレストコンクリート部材の、プレストレスの算出は、プレストレッシング直後のプレストレス力および有効プレストレス力の 2 種類を考慮しなければならない。
- 2) 終局荷重作用時における荷重に乗じる係数と組合せについて規定したものである。なお、プレストレストコンクリートの不静定構造においては、プレストレス力およびコンクリートのクリープや乾燥収縮により不静定力が一般に生じるため、終局荷重作用時の照査においてこれを考慮する必要がある。その場合、終局荷重作用時の荷重の組合せにおいて、係数を 1.0 としてこれらの不静定力を加えるものとする。
- (3) コンクリートは、応力度とひずみが直線状に比例せず、完全な弾性体ではない。しかしながら、これを弾性体とみなすことによって断面力の算出が容易になり、またその断面力により設計される部材は、厳密な計算により設計される部材に比較して、その安全性を一般に損なうものではない。このような理由により、部材の設計に用いる断面力は、コンクリートを完全な弾性体とみなして算出できるものとし

た。

また、部材に生じる断面力は、構造物を構成する部材相互の剛性の比、すなわち剛比により定まり、剛性の大きさそのものの影響は小さい。したがって、断面力の算出にあたっては、簡略化のため、コンクリートの全断面を有効として算出した断面の剛性を用いてよいものとした。

3. 2 プレストレス力

構造物にプレストレス力を導入する場合には、設計にこれを考慮するものとする。

- (1) プレストレス力は、プレストレッシング直後のプレストレス力および有効プレストレス力について考慮しなければならない。また、プレストレス力により不静定力が生じる場合にはこれも考慮しなければならない。
- (2) プレストレッシング直後のプレストレス力は、FRP 緊張材の引張端に与えた引張力に、次の影響を考慮して算出するものとする。
 - 1) コンクリートの弾性変形
 - 2) FRP 緊張材とシースの摩擦
 - 3) 定着具におけるセット
- (3) 有効プレストレス力は、(2) 項の規定により算出するプレストレッシング直後のプレストレス力に、次の影響を考慮して算出するものとする。
 - 1) コンクリートのクリープ
この場合に考慮する持続荷重は、プレストレッシング直後のプレストレス力および死荷重とする。
 - 2) コンクリートの乾燥収縮
 - 3) FRP 緊張材のリラクセーション
- (4) 有効プレストレス力による不静定力は、プレストレッシング直後のプレストレス力による不静定力に FRP 緊張材の引張力の有効係数を部材全体にわたって平均した値を乗じて算出することができる。

- (1) プレストレス力はプレストレスを与えた直後（プレストレッシング直後）のプレストレス力とその後生ずるコンクリートのクリープ、乾燥収縮および FRP 緊張材のリラクセーションが終わったときの有効プレストレス力について考慮しなければならない。
- (2) プレストレッシング直後のプレストレス力の減少はプレテンション方式ではコンクリートの弾性変形を、ポストテンション方式ではコンクリートの弾性変形、FRP 緊張材とシースの摩擦、定着具およびジャッキ内部の摩擦、定着具におけるセットを考慮しなければならない。
 - 1) コンクリートの弾性変形による FRP 緊張材の引張応力度の減少量は、プレテンション方式の場合には、コンクリートにプレストレスが一度に与えられるため、FRP 緊張材の図心位置でのコンクリート応力度に FRP 緊張材とコンクリートのヤング係数比を乗じて算出される。ポストテンション方式の場合には、一般に、1 ケーブルまたはグループごとにプレストレッシングされ、緊張段階においてすでに定着された FRP 緊張材の引張力が順次変化していくので、これらを考慮して減少量を算出し

なければならない。

コンクリートの弾性変形による FRP 緊張材の引張応力度の平均減少量は、道路橋示方書 I 共通編 2.1.6 の解説に準じて算出してよい。

- 2) 摩擦による FRP 緊張材の引張力の減少は、主としてシースと FRP 緊張材との摩擦によって生じるが、工法によっては定着具の摩擦とジャッキ内部の摩擦があるので、これらの摩擦による影響についても考慮する必要がある。

シースと FRP 緊張材との摩擦の影響を考慮した FRP 緊張材の引張力は、シースおよび FRP の種類、配置の形状などにより、異なるものである。一般に FRP 緊張材の引張力は、FRP 緊張材の図心線の角変化と FRP 緊張材の長さを考慮して式（解 3.2.1）により算出することができる。

$$P_x = P_i \cdot e^{(\mu \alpha + \lambda x)} \dots\dots\dots \text{(解 3.2.1)}$$

ここに、 P_x : 設計断面における FRP 緊張材の引張力 (kgf)

P_i : FRP 緊張材のジャッキの位置の引張力 (kgf)

μ : FRP 緊張材の角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数

α : FRP 緊張材の角変化 (ラジアン) $\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i$

λ : FRP 緊張材の長さ 1m 当たりの摩擦係数

x : FRP 緊張材の引張端から設計断面までの長さ (m)

FRP 緊張材の長さが 40m 程度以下、FRP 緊張材の角変化が $\frac{\pi}{6}$ ラジアン (30°) 程度以下の場合には式（解 3.2.2）により、摩擦の影響を考慮した FRP 緊張材の引張力を算出してよい。

$$P_x = P_i \cdot (1 - \mu \alpha - \lambda x) \dots\dots\dots \text{(解 3.2.2)}$$

これらの式における μ および λ の値は、官民共同研究の結果他を参考にして、一般に表一解 3.2.1 の値を用いてよいこととした。

表一解 3.2.1 FRP とシースの摩擦係数

	$\lambda (/m)$	$\mu (/rad)$
CFRP (I)	0.004	0.30
" (II)	0.004	0.30
AFRP (I)	0.003	0.25
" (II)	0.003	0.25

- 3) 定着具のセットの影響による FRP 緊張材の引張力の減少量は、各定着方式によって異なる。ねじ式の定着方式においては、セット量が僅少であるのでその影響を無視できるが、くさび式の定着方式では比較的大きなセット量が生じるのでその影響を考慮して、FRP 緊張材の引張力の減少量を算出しなければならない。

セットの影響による FRP 緊張材のプレストレス減少量は、道路橋示方書 I 共通編 2.1.6 の解説に準じて算出してよい。

(3) 有効プレストレス力は、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮と、FRP 緊張材の見かけのリラクセーションとによるプレストレス力の減少量をプレストレス直後のプレストレス力より減ずることによって求めてよい。

コンクリートと FRP 緊張材との間に付着がある場合、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による FRP 緊張材の引張応力度の減少量は、式 (解 3.2.3) により算出してよい。

$$\Delta \sigma_p \phi = \frac{n \cdot \phi \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_s}{1 + n \cdot \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{pt}} \left[1 + \frac{\phi}{2} \right]} \dots\dots\dots (\text{解 3.2.3})$$

ここに、 $\Delta \sigma_p \phi$: コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による FRP 緊張材の応力度の減少量 (kgf/cm²)

ϕ : 道路橋示方書 I 共通編表-2.1.8 に示すコンクリートのクリープ係数

ε_s : 道路橋示方書 I 共通編表-2.1.9 に示すコンクリートの乾燥収縮度

n : ヤング係数比

$$n = E_p / E_c$$

E_p : 表-2.2 に示す値 (kgf/cm²)

E_c : 道路橋示方書 I 共通編表-3.3.3 に示す値 (kgf/cm²)

σ_{cp} : FRP 緊張材の位置におけるコンクリート断面の持続荷重による応力度 (kgf/cm²)

この場合の持続荷重は、プレストレス直後のプレストレス力および死荷重とする。

σ_{pt} : プレストレス直後の FRP 緊張材の引張応力度 (kgf/cm²)

σ_{cpt} : FRP 緊張材の位置におけるプレストレス直後のプレストレス (kgf/cm²)

ただし、死荷重の一部がプレストレス導入後に作用する場合には、必要に応じてその影響を考慮するのがよい。

FRP 緊張材のリラクセーションによる FRP 緊張材の引張応力度の減少量は、式 (解 3.2.4) により算出してよい。

$$\Delta \sigma_{pr} = \gamma \cdot \sigma_{pt} \dots\dots\dots (\text{解 3.2.4})$$

ここに、 $\Delta \sigma_{pr}$: FRP のリラクセーションによる FRP 緊張材の引張応力度の減少量 (kgf/cm²)

γ : 表-解 3.2.2 に規定する FRP 緊張材の見かけのリラクセーション率

表-解 3.2.2 FRP 緊張材の見かけのリラクセーション率

FRP 緊張材	見かけのリラクセーション率 (%)
CFRP (I)	6.0
CFRP (II)	6.0
AFRP (I)	25
AFRP (II)	25

σ_{pi} : プレストレッシング直後の FRP 緊張材の引張応力度 (kgf/cm²)

ただし、表一解 3.2.2 に示すように CFRP と AFRP とでは見かけのリラクセーション率 γ に大きな違いがあるが、AFRP は CFRP よりヤング係数がかかなり小さいので、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による減少量 $\Delta \sigma_p$ は AFRP の方が小さくなり、その結果、有効係数 η はいずれの FRP 緊張材も $\eta = 0.7 \sim 0.8$ 程度になる。

3.3 曲げモーメントおよび軸方向力に対する照査

3.3.1 設計荷重作用時の照査

(1) 設計荷重作用時に部材断面に生じるコンクリート、鋼材および FRP 補強材の応力度は、4 章に規定する許容応力度以下としなければならない。

(2) 部材断面に生じるコンクリート、鋼材および FRP 補強材の応力度は、次の規定により算出するものとする。

1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。

2) コンクリートの全断面を有効とする。ただし、圧縮フランジについては、道路橋示方書 III コンクリート橋編 2.2.2 に規定する有効幅を考慮するものとする

なお、衝突荷重あるいは地震の影響を含む荷重の組合せにおいて、コンクリートの全断面を有効として算出したコンクリートの引張応力度が 30 kgf/cm^2 をこえる場合は、コンクリートの全断面を有効とせずコンクリートの引張応力を受ける部分を無視するのがよい。

3) 鋼材および FRP 補強材とコンクリートのヤング係数比は、道路橋示方書 I 共通編表-3.3.1 および 2.1.2 と道路橋示方書 I 共通編表-3.3.3 のヤング係数より算出する

(3) 直交する 2 方向の曲げモーメントを受ける部材断面は、2 方向の曲げモーメントが同時に作用するものとして応力度の照査を行うのがよい。

(4) 設計荷重作用時に部材断面のコンクリートに引張応力が生じる場合は、引張応力が生じるコンクリート部分に (5) および (6) 項に規定する引張鉄筋を配置しなければならない。

(5) 引張応力が生じる部材断面に配置する引張鉄筋の断面積は、次の値以上としなければならない。

1)
$$A_s = \frac{T_c}{\sigma_{sa}} \dots\dots\dots (3.3.1)$$

ここに、 A_s : 引張鉄筋の断面積 (cm²)

T_c : コンクリートに生じる引張応力の合力 (kgf)

σ_{sa} : 引張鉄筋の許容引張応力度 (kgf/cm²)

2) 引張応力が生じる部分のコンクリートの断面積の 0.5%

(6) 次に示す 2 つの条件をともに満足する場合は、FRP 緊張材を引張鉄筋とみなすことができる。

1) FRP 緊張材とコンクリートの付着がある場合

2) コンクリートに生じる引張応力の合力をその部分に配置する FRP 緊張材の断面積で除した応力

度と FRP 緊張材の引張応力度との和が、FRP 緊張材の許容引張応力度以下の場合

(7) (6) 項の規定により、FRP 緊張材を引張鉄筋とみなせる場合には、式 (3.3.1) の許容応力度 σ_{s1} は、主荷重および主荷重に相当する特殊荷重に対して $1800\text{kgf}/\text{cm}^2$ とし、その他の荷重の場合に対しては 4.1 の規定により割増しするものとする。

- (1) 設計荷重作用時に部材断面に生じる応力度を許容応力度以下とすることにより、鉄筋コンクリート部材においては過大なひびわれの発生を防ぎ、プレストレストコンクリート部材においてはひびわれが発生しないように設計することができる。
- (2) プレストレストコンクリート部材は設計荷重作用時にひびわれが発生しないように設計するのが原則である。しかし、衝突荷重あるいは地震の影響などまれにしか生じない荷重を含む荷重の組合せに対してもひびわれが生じないように大きなプレストレスを導入することは必ずしもよい設計とは言えないため、このような場合にはひびわれが生じてもよいこととし、引張鉄筋を配置して補強することとした。この場合、引張鉄筋量の算出方法として、(5) 項に規定する方法および鉄筋コンクリート部材と同様にコンクリートの引張強度を無視して算出する方法がある。一般に (5) 項に規定する方法により引張鉄筋量を算出すると計算が簡単で、しかも安全側となるので、コンクリートの引張応力度が $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ まではこの方法によってよいこととした。 $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ をこえる場合は、引張鉄筋量が多くなるので、鉄筋コンクリート部材の設計と同様に、コンクリートの引張強度を無視して設計するのがよい。
- (3) プレストレストコンクリート部材の応力度の照査にあたっては、直交するそれぞれの方向について算出されたコンクリート応力度の和を 4 章の許容応力度以下にしなければならない。
- (4) プレストレストコンクリート部材の設計においては、コンクリートに許容応力度以下の引張応力が生じてもよいとしている。しかし、コンクリートに引張応力が生じる場合には、引張応力の生じる部分に鉄筋を配置し、ひびわれが生じた場合でもその幅が大きくなるのを防ぐとともに、部材のじん性を増すこととした。

FRP 補強材とコンクリートが付着していない部材では、想定した荷重より大きな荷重が作用するとひびわれが分散されないため、集中して大きなひびわれが発生することになる。これを防ぐため、設計荷重作用時のほか、式 (解 3.3.1) の荷重の組合せに対し、引張鉄筋を算出し、活荷重を割増さない場合に算出した鉄筋量と比較し、多い方の鉄筋量を引張縁近くに配置して、ひびわれの分散を図ることとする。

死荷重 + $1.35 \times$ (活荷重 + 衝撃) + 有効プレストレス (解 3.3.1)

- (5) 引張鉄筋量の算出方法を規定したものである。ただし、この規定は衝突荷重あるいは地震の影響を含まない荷重の組合せについてであり、衝突荷重あるいは地震の影響を含む荷重の組合せについては (2) 項の解説を参照するものとする。

式 (3.3.1) および (2) の条件は式 (解 3.3.2) のように表すことができる (図 - 解 3.3.1 参照)。

$$A_s = \frac{b \cdot x \cdot \sigma_{c1}}{2 \sigma_{s1}} \dots \dots \dots \text{(解 3.3.2)}$$

ただし、 $A_s \geq 0.005b \cdot x$

ここに、 A_s ：引張鉄筋量 (cm^2)

b ：部材引張縁の幅 (cm)

x ：部材引張縁から中立軸までの距離 (cm)

σ_{ct} ：設計荷重作用時に部材引張縁に生じるコンクリートの引張応力度 (kgf/cm^2)

σ_{sa} ：引張鉄筋の許容引張応力度 (kgf/cm^2)

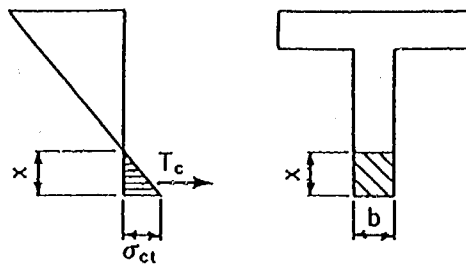
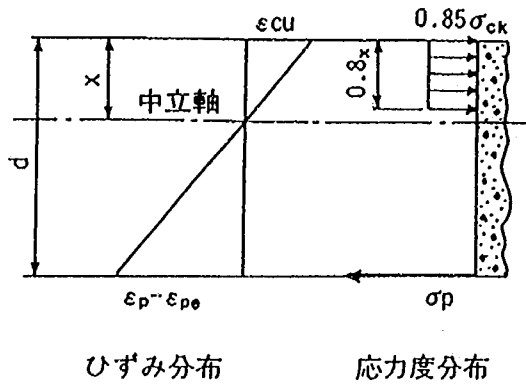


図-解 3.3.1 コンクリートの引張応力度の分布

- (6) FRP 緊張材の応力度が、許容応力度に対して余裕がある場合は、一般 PC 鋼材と同様に引張応力度が生じる部分に配置されている FRP 緊張材を引張鉄筋とみなすことができることとした。すなわち、この場合に実際に配置する引張鉄筋量は、式 (3.3.1) または式 (解 3.3.2) より算出される鉄筋断面積から、引張鉄筋とみなせる FRP 断面積を差し引いた値となる。
- (7) (6) 項に基づいて FRP 緊張材を引張鉄筋とみなす場合に、引張鉄筋としての FRP 緊張材の許容応力度を規定したものである。

3.3.2 終局荷重作用時の照査

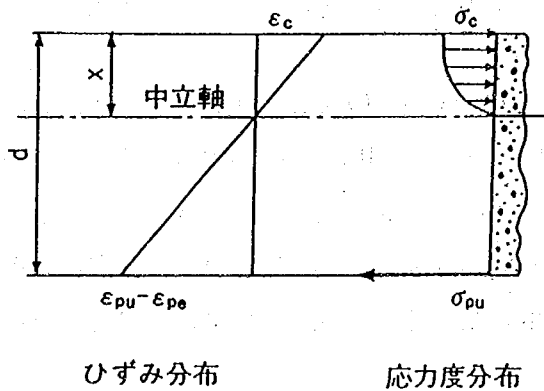
- (1) 部材断面の破壊抵抗曲げモーメントは、終局荷重作用時に部材断面に作用する曲げモーメント以上としなければならない。
- (2) 部材断面の破壊抵抗曲げモーメントは、次の規定により算出するものとする。
- 1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - 2) コンクリートの引張強度は無視する。
 - 3) コンクリートの圧縮応力度の分布は、コンクリートの圧縮破壊の場合は図-3.3.1(a)、FRP 緊張材の引張破壊の場合は図-3.3.1(b)のとおりとする。ただし、図-3.3.1(b)および断面形状が特殊な場合は、図-3.3.2 の応力度-ひずみ曲線によりコンクリートの圧縮応力度を算出するものとする。
 - 4) FRP 緊張材の応力度-ひずみ曲線は、図-3.3.3 のとおりとする。



ここに,

- ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ ($=0.0035$)
- ϵ_p : FRP 緊張材のひずみ
- σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm^2)
- σ_p : FRP 緊張材の応力度 (kgf/cm^2)
- d : 部材断面の有効高 (cm)
- x : 圧縮縁から中立軸までの距離 (cm)
- ϵ_{pe} : 有効プレストレス力による FRP 緊張材のひずみ

(a) コンクリートの圧縮破壊

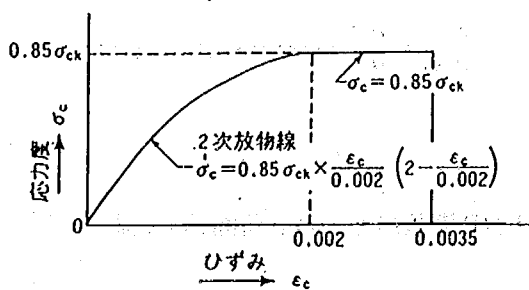


ここに,

- ϵ_c : コンクリートのひずみ
- ϵ_{pu} : FRP 緊張材の終局ひずみ
- σ_c : コンクリートの応力度 (kgf/cm^2)
- d : 部材断面の有効高 (cm)
- x : 圧縮縁から中立軸までの距離 (cm)
- ϵ_{pe} : 有効プレストレス力による FRP 緊張材のひずみ

(b) FRP 緊張材の引張破壊

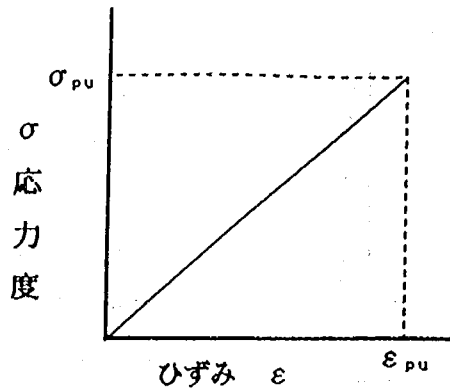
図-3.3.1 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のひずみおよび応力度の分布



ここに,

- σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm^2)
- σ_c : コンクリートの応力度 (kgf/cm^2)
- ϵ_c : コンクリートのひずみ

図-3.3.2 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のコンクリートの応力度-ひずみ曲線



ただし、 σ/ε がヤング係数を示す。

図-3.3.3 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のFRP緊張材の応力度-ひずみ曲線

(3) 部材断面に曲げモーメントと軸方向力が同時に作用する場合の破壊抵抗曲げモーメントは、終局荷重作用時の軸方向力が作用する場合について(2)項の規定により算出することを原則とする。

- (1) この項は部材の曲げ破壊を生じさせないように定めたものである。破壊抵抗曲げモーメントとは、部材が抵抗できる最大の曲げモーメントであり、その算出は(2)項に規定する方法によるものとする。
- (2) 破壊抵抗曲げモーメントを算出するためには、断面内のひずみ分布を求め、これからコンクリートの応力度の分布およびFRP緊張材図心の応力度を求める必要がある。このために、1)にひずみ分布、2)および3)にコンクリートの応力度分布、および4)にFRP緊張材の応力度-ひずみ曲線をそれぞれ規定した。

コンクリートの終局ひずみと引張FRP緊張材の終局ひずみが同時に生じる場合をつり合い状態といい、その時の引張FRP緊張材量(比)を終局つり合いFRP緊張材量(比)と呼ぶ。終局つり合いFRP緊張材量(比)は、圧縮フランジが長方形とみなされる場合には、式(解3.3.3)により算出できる。

$$p_b = \frac{A_{sb}}{b d} = \left[0.68 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{pu}} - \frac{N_d}{b d \sigma_{ck}} \right] \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_{pu}} + \frac{A_s'}{b d} \cdot \frac{\sigma_p'}{\sigma_{pu}} \dots \dots \dots (\text{解 3.3.3})$$

ここに、 p_b : 終局つり合いFRP緊張材量比

A_{sb} : 終局つり合い引張FRP緊張材量(引張FRP緊張材量の合計断面積)(cm^2)

b : 圧縮フランジの有効幅(cm)

d : 部材断面の有効高(cm)

ε_{cu} : コンクリートの終局ひずみ($\varepsilon_{cu}=0.0035$)

ε_{pu} : 引張FRP緊張材の終局ひずみ

$$\varepsilon_{pu} = \frac{\sigma_{pu}}{E_p}$$

E_p : 引張FRP緊張材のヤング係数(kgf/cm^2)

σ_{pu} : 引張 FRP 緊張材の規格引張強さ (kgf/cm²)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

N_d : 終局荷重作用時の軸方向力 (kgf)

A_s' : 圧縮鋼材量 (cm²)

σ_s' : 圧縮鋼材の応力度 (kgf/cm²)

$$\sigma_s' = \left\{ \varepsilon_{cu} - (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sy}) \frac{d'}{d} \right\} E_s' \leq \sigma_{sy}'$$

d' : 圧縮縁から圧縮鋼材の図心までの距離 (cm)

E_s' : 圧縮鋼材のヤング係数 (kgf/cm²)

σ_{sy}' : 圧縮鋼材の降伏点 (kgf/cm²)

緊張材として通常の PC 鋼材を使用する場合は、配置する引張鋼材量を終局つり合い鋼材量の 75% 以下とし、引張鋼材が降伏する前にコンクリートが圧縮破壊するのを避けているのが一般的である。一方 FRP 緊張材を使用する場合は、降伏点がないという引張領域における材料特性により、コンクリートが先に圧縮破壊する可能性もあるため、コンクリートが終局ひずみに達する場合と、引張 FRP 緊張材が終局ひずみに達する場合のふたつの破壊形式を考えることができる。設計をする場合、構造形式、使用 FRP 緊張材、構造物の重要性などを考慮して、これらの破壊形式を選定し、それを明記する必要がある。

また、緊張材として PC 鋼材を用いる場合の破壊抵抗曲げモーメントは、PC 鋼材応力度に対して安全係数的なものを考慮して算出しているが、FRP 緊張材を用いる場合は、ふたつの破壊形式があるため、メーカーが定めた規格引張強さをそのまま用いて算出することとした。責任技術者は、破壊形式、材料強度に着目して、算出された破壊抵抗曲げモーメントに対して総合的な判断を加えるのがよい。

1) コンクリートの圧縮破壊の場合

部材断面の破壊抵抗曲げモーメントの算出にあたっては、一般に次の2つの条件式を用いることができる。

$$N = C - T \dots \dots \dots (解 3.3.4)$$

$$\frac{x}{\varepsilon_{cu}} = \frac{d-x}{\varepsilon_p - \varepsilon_{pe}} \dots \dots \dots (解 3.3.5)$$

ここに、 T : FRP 緊張材の引張力の合力 (kgf)

C : コンクリートの圧縮応力度の合力 (kgf)

N : 軸方向力 (kgf)

$x, \varepsilon_{cu}, d, \varepsilon_p, \varepsilon_{pe}$: 図-解 3.3.2 参照

式 (解 3.3.4) は力のつり合い条件、式 (解 3.3.5) はひずみの適合条件を示すものであり、これらを用いて曲げモーメントのつり合い条件を満足する式 (解 3.3.6) により破壊抵抗曲げモーメントを算出す

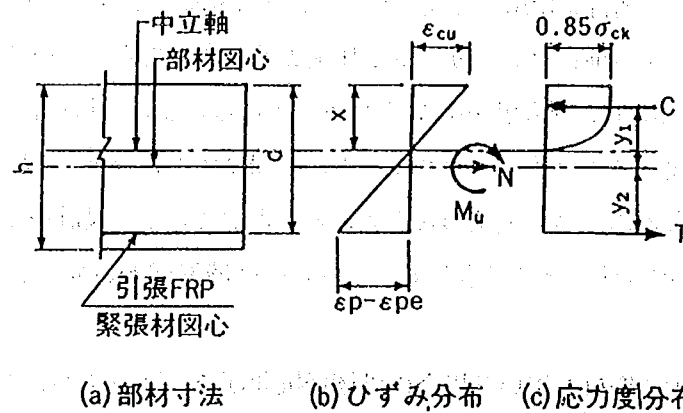
る（図－解 3.3.2 参照）。

$$M_u = C \cdot y_1 + T \cdot y_2 \dots\dots\dots (解 3.3.6)$$

ここに、 y_1, y_2 : 断面図心より C および T までの距離 (cm)

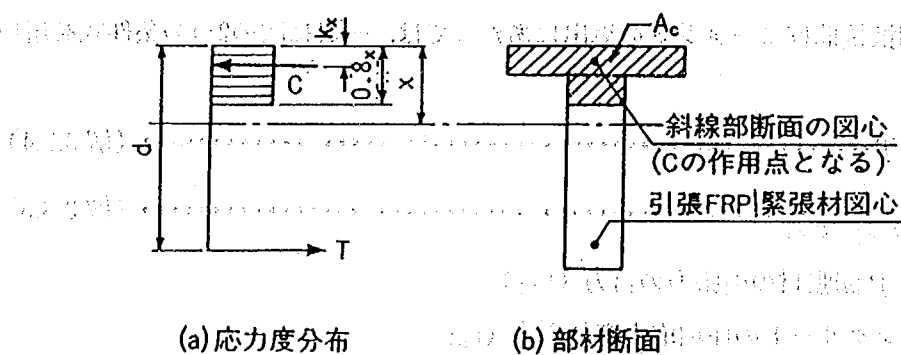
図－3.3.1(a)に示す応力度分布は、計算を簡略化するため、図－3.3.2 に示す放物線と長方形とからなる応力度分布を、応力度 $0.85 \sigma_{ck}$ と一定で面積が等価な長方形分布に置き換えたものである。

部材の断面形状が長方形、I 形、T 形、箱形の場合には図－3.3.1(a) に示す応力度分布を用いても、図－3.3.2 により計算した結果と近似的に等しくなる。ただし、この分布は応力度の分布であるため、部材断面に生じる圧縮応力度の合力 C の作用位置は、必ずしも圧縮縁から $0.4x$ の位置とはならず圧縮応力が分布している部分の図心となる（図－解 3.3.3 参照）。



(a) 部材寸法 (b) ひずみ分布 (c) 応力度分布

図－解 3.3.2 のコンクリートの圧縮破壊における破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のひずみ分布および応力度分布



(a) 応力度分布 (b) 部材断面

図－解 3.3.3 コンクリートの圧縮応力度の合力の作用位置

一方、長方形、I 形、T 形、箱形以外の特殊な断面形状の部材については、図－3.3.2 に基づいて応力度分布を求め、圧縮応力度の合力の作用位置を計算しなければならない。

2) FRP 緊張材の引張破壊の場合

破壊抵抗曲げモーメントを算出するためには、1)と同様に断面内のひずみ分布を求め、これからコンクリートの応力度の分布および FRP 緊張材の応力度を求める必要がある。部材断面の破壊抵抗曲げモーメントの算出に当たっては、(解 3.3.4)と下式を用いることができる。

$$\frac{x}{\epsilon_c} = \frac{d_i - x}{\epsilon_{pi} - \epsilon_{pe}} \dots \dots \dots (\text{解 3.3.7})$$

ここに、 d_i : i 番目の FRP 緊張材の有効高

ϵ_{pi} : i 番目の FRP 緊張材のひずみ

これらを用いて曲げモーメントのつり合い条件を満足する式 (解 3.3.6) により破壊抵抗曲げモーメントを算出する。なお、FRP 緊張材が多段配置される場合、破壊抵抗曲げモーメントは、最外縁に位置する FRP 緊張材の引張破壊が適合条件となる (図-解 3.3.4 参照)。

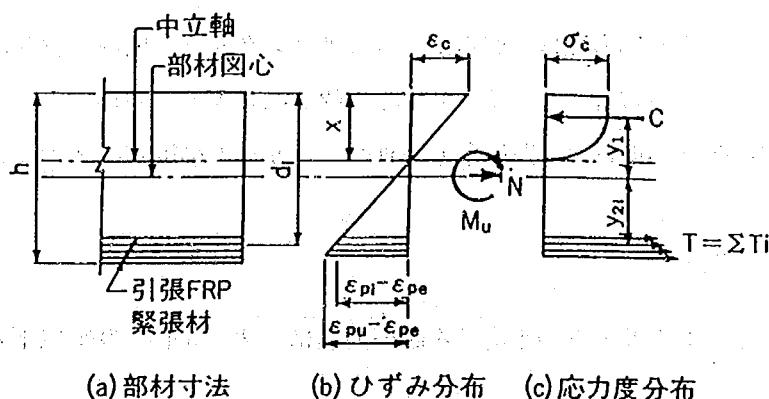


図-解 3.3.4 FRP 緊張材の破断破壊における破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のひずみの分布および応力度の分布

(3) 曲げモーメントと軸方向力が同時に作用する部材の破壊抵抗曲げモーメントは、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 2.2.4 解説により算出してよい。

3.4 せん断力に対する照査

3.4.1 設計荷重作用時の照査

(1) 部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度が、表-3.4.1 の値以下の場合には、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 4.3(3) 項に規定する最小鉄筋量以上の斜引張鉄筋を配置するものとする。

表-3.4.1 コンクリートが負担できる平均せん断応力度 (kgf/cm²)

設計基準強度 (kgf/cm ²)	210	240	270	300	400	500
コンクリートが負担できる平均せん断応力度	3.6	3.9	4.2	4.5	5.5	6.5

- (2) 部材に生じるコンクリートの平均せん断応力度が、表-3.4.1 の値をこえる場合には、斜引張鉄筋を配置しなければならない。ただし、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 4.3(3)項に規定する最小鉄筋量を下まわってはならない。
- (3) (1), (2) の照査によるほか、部材断面に生じるコンクリートの斜引張応力度は4章に規定する許容斜引張応力度以下としなければならない。ただし、地震の影響を含む荷重の組合せにおいては斜引張応力度を照査しなくてもよい。
- (4) せん断力が作用する方向の厚さが薄い部材については、部材断面に生じるコンクリートの斜引張応力度を、4章に規定する許容斜引張応力度以下としなければならない。ただし、地震の影響を含む荷重の組合せにおいては斜引張応力度を照査しなくてもよい。この場合は、(2) および道路橋示方書コンクリート橋編 4.3(3) 項に規定する斜引張鉄筋は配置しなくてもよい。

- (1) コンクリートの平均せん断応力度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.3.2)により算出する。
- (2) 斜引張鉄筋は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.3.4)に準じて算出する。
- (3) コンクリートの斜引張応力度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.3.3)により算出する。

3.4.2 終局荷重作用時の照査

- (1) 部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度は、表-3.4.2 の値以下としなければならない。

表-3.4.2 コンクリートの平均せん断応力度の最大値 (kgf/cm²)

設 計 基 準 強 度	210	240	270	300	400	500
コンクリートの平均せん断応力度の最大値	28	32	36	40	53	60

- (2) せん断力が作用する方向の厚さが薄い部材については、部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度は、表-3.4.1 の値に、式 (3.4.1)により算出される k を乗じた値以下としなければならない。

$$k = 1 + \frac{M_o}{M_d} \quad \left. \begin{array}{l} \text{ただし、} k \leq 2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.4.1)$$

ここに、k : コンクリートが負担できる平均せん断応力度の割増し係数

M_d : 終局荷重作用時に部材断面に作用する曲げモーメント (kgf・cm)

M_o : プレストレス力および軸方向力によるコンクリートの応力度が部材引張縁で 0 となる曲げモーメント (kgf・cm)

- (1) コンクリートの平均せん断応力度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.3.2)により算出する。

3.5 ねじりモーメントに対する照査

3.5.1 設計荷重作用時の照査

(1) ねじりモーメントによるコンクリートのせん断応力度、またはねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度の和が、表-3.4.1の値以下の場合には、ねじりモーメントに対する鉄筋は配置しなくてよい。

(2) ねじりモーメントによるコンクリートのせん断応力度、またはねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度の和が、表-3.4.1の値をこえる場合には、ねじりモーメントに対する横方向鉄筋および軸方向鉄筋をそれぞれ配置しなければならない。

なお、ねじりモーメントに対する軸方向鉄筋は、原則として部材断面の上下左右に対称に配置するものとする。

(3) (1)、(2)の照査によるほか、部材断面に生じるコンクリートの斜引張応力度は4章に規定する許容斜引張応力度以下としなければならない。なお、この場合、ねじりモーメントによるコンクリートのせん断応力度およびねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度の和についてそれぞれ照査するものとする。ただし、地震の影響を含む荷重の組合せにおいては斜引張応力度を照査しなくてよい。

(1) ねじりモーメントによるコンクリートのせん断応力度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.4.2)により算出するものとする。

(2) ねじりモーメントに対する横方向および軸方向鉄筋は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.4.4)により算出するものとする。なお、FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート部材のねじりモーメントに対して耐力評価の研究成果が少ないため、FRP緊張材はねじり補強材とみなさないものとする。

(3) 斜引張応力度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編式(2.4.3)により算出するものとする。

3.5.2 終局荷重作用時の照査

ねじりモーメントによるコンクリートのせん断応力度およびねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度の和は、それぞれ表-3.5.1の値以下としなければならない。

表-3.5.1 コンクリートのせん断応力度の最大値 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度 応力度の種類	210	240	270	300	400	500
ねじりモーメントによるせん断応力度	28	32	36	40	53	60
ねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度との和	36	40	44	48	61	68

4章 許 容 応 力 度

4.1 一般

- (1) 主荷重および主荷重に相当する特殊荷重により部材断面に生じる応力度に対する許容応力度は、プレストレストコンクリート部材についてそれぞれ4.2, 4.3 および4.4 に規定する値とする。
- (2) 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮する場合の許容応力度は、4.2, 4.3 および4.4 に規定する許容応力度に、表-4.1.1 の割増し係数を乗じた値とする。
ただし、架設時荷重に架設時の風荷重または地震の影響を考慮する場合の割増し係数は、表-4.1.1 の値にかかわらず、架設地点の条件、架設中の構造系などを考慮して、別途に定めるものとする。
- (3) 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮する場合のプレストレストコンクリート部材のコンクリートの許容引張応力度は、(2)項の規定にかかわらず、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 3.3.4 によるものとする。
- (4) 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮する場合の FRP 緊張材の許容引張応力度は、FRP 緊張材の規格引張強さの 80%以下の値とするものとする。
- (5) 4.2 および 4.4 に規定するプレストレス直後の許容応力度は、割増してはならない。

表-4.1.1 許容応力度の割増し係数

荷 重 の 組 み 合 わ せ	割増し係数
(1) 主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重+温度変化の影響(T)	1.15
(2) 主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重+風荷重(W)	1.25
(3) 主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重+温度変化の影響(T) +風荷重(W)	1.35
(4) 主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重+制動荷重(BK)	1.25
(5) 主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重+衝突荷重(CO)	1.50
(6) 活荷重および衝撃以外の主荷重+地震の影響(BQ)	1.50
(7) 風荷重(W)のみ	1.20
(8) 架設時荷重(ER)	1.25

- (1) プレストレストコンクリート部材に対する許容応力度の値は、一般に用いられる設計基準強度 300kgf/cm²から 500kgf/cm²までのコンクリートについて示した。設計基準強度がこれらの範囲をこえるコンクリートを用いる場合は、プレストレストコンクリート部材に対する許容応力度の定め方に準じて許容応

力度を定めなければならない。なお、コンクリートの許容応力度はコンクリート強度が設計基準強度以上になった場合について規定しており、設計基準強度に達しない時点で応力度の照査を行う場合の許容応力度はその時点でのコンクリートの強度より別途定めなければならない。プレストレッシング直後の応力度の照査については、6.4.2の規定を満足していれば設計基準強度に対する許容応力度を用いてよい。

- (4) 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮する場合のFRP緊張材の許容引張応力度は、(2)項の規定により割増しすることができるが、設計荷重作用時にFRP緊張材が破断することを防ぐためFRP緊張材の許容応力度の上限値として規格引張強さの80%の値を規定した。

4.2 コンクリートの許容応力度

- (1) コンクリートの許容圧縮応力度は表-4.2.1の値とする。

表-4.2.1 コンクリートの許容圧縮応力度 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度			300	400	500
応力度の種類					
プレストレッシング直後	曲げ圧縮 応 力 度	(1) 長方形断面の場合	150	190	210
		(2) T形および箱形断面の場合	140	180	200
	(3) 軸圧縮応力度		110	145	160
その他	曲げ圧縮 応 力 度	(4) 長方形断面の場合	120	150	170
		(5) T形および箱形断面の場合	110	140	160
	(6) 軸圧縮応力度		85	110	135

なお、二方向から同時に曲げモーメントを受ける場合の許容曲げ圧縮応力度は、長方形断面の許容値に10 kgf/cm²を加えた値とする。

- (2) コンクリートの許容引張応力度は表-4.2.2の値とする。

表-4.2.2 コンクリートの許容引張応力度 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度			300	400	500
応力度の種類					
曲げ引張 応 力 度	(1) プレストレッシング直後		12	15	18
	(2) 活荷重及び衝撃以外の主荷重		0	0	0
	主荷重および主荷重に相当する特殊荷重	(3) 床版およびブロック工法におけるブロック継目部の場合	0	0	0
		(4) その他の場合	12	15	18
	(5) 軸引張応力度		0	0	0

(3) コンクリートの許容斜引張応力度は表-4.2.3 の値とする。

表-4.2.3 コンクリートの許容斜引張応力度 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度	300	400	500
応力度の種類			
(1) せん断力のみまたはねじりモーメントのみを考慮する場合	8	10	12
(2) せん断力とねじりモーメントをともに考慮する場合	11	13	15

(4) コンクリートの許容付着応力度は、直径 32mm以下の鉄筋に対して表-4.2.4 の値とする。

表-4.2.4 コンクリートの許容付着応力度 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度	300	400	500
応力度の種類			
(1) 異形棒鋼	18	20	20
(2) エポキシ樹脂塗装鉄筋	14	16	16

(4) エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合のコンクリートの許容付着応力度は、「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）」の規定に準じて、異形棒鋼を用いる場合のコンクリートの許容付着応力度の 80%とした。

4. 3 鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は、直径 32mm以下の鉄筋に対して表-4.3.1 の値とする。

表-4.3.1 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm²)

鉄筋の種類			SD295A SD295B	SD345
応力度、部材の種類				
引張応力度	荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含まない場合の基本値	(1) 一般の部材	1,800	1,800
		(2) 床版および支間 10 m 以下の床版橋	1,400	1,400
		(3) 水中あるいは地下水位以下に設ける部材	1,600	1,600
	(4) 荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含む場合の許容応力度の基本値		1,800	2,000
	(5) 鉄筋重ね継手長あるいは定着長を算出する場合の基本値		1,800	2,000
	(6) 圧縮応力度		1,800	2,000

(1) 一般の部材における鉄筋の許容応力度の値は、コンクリートのひびわれが部材の耐久性に対して有害にならないように定めたもので、表-4.3.1 の応力度、部材の種類のうち、(2)、(3)、(4)および(5)以外の場合の一般の鉄筋コンクリート部材の設計に用いられるものである。

なお、死荷重のみが作用するときの鉄筋の応力度は 1,000kgf/cm²以下とするのが望ましい。また、エポキシ樹脂塗装鉄筋の許容応力度は、一般の鉄筋と同じとしてよい。

(2) 床版および支間 10m 以下の床版橋は活荷重による応力変動幅が大きく、しかも繰返し荷重が載荷され、他の鉄筋コンクリート部材に比べて有害なひびわれ発生が生じる割合が高い。一般に床版および床版橋の破損は引張鉄筋の破断による場合は少なく、コンクリートに生じたひびわれが繰返し載荷によって大きくなり、最終的にコンクリートの剥離や脱落に至る場合が多い。したがって、一般の鉄筋の許容応力度を基にして定められた値より小さな値とした。なお、鉄筋コンクリート床版の鉄筋の許容応力度は 1,400kgf/cm²に対して 200kgf/cm²程度余裕を持たせるのが望ましい。

4. 4 FRP 緊張材の許容応力度

FRP 緊張材の許容引張応力度は表-4.4.1 の値とする。

表-4.4.1 FRP 緊張材の許容引張応力度

	応力度の状態	許容引張応力度	備考
プレテン ション方 式	(1) プレストレッシング中	$0.8 \sigma_{pu}$	σ_{pu} : FRP 緊張材の 規格引張強さ (kgf/ cm ²) R : FRP 定着係数
	(2) プレストレッシング直後	$0.7 \sigma_{pu}$	
	(3) 設計荷重作用時	$0.6 \sigma_{pu}$	
ポストテ ンション 方式	(1) プレストレッシング中	$0.8 R \cdot \sigma_{pu}$	
	(2) プレストレッシング直後	$0.7 R \cdot \sigma_{pu}$	
	(3) 設計荷重作用時	$0.6 \sigma_{pu}$	

FRP 緊張材と定着具を組み合わせた場合には FRP 緊張材の許容引張応力度は、定着具の性能で決まる場合もある。このために特にポストテンション方式のプレストレッシング中およびプレストレッシング直後には FRP 定着係数を考慮した。ただし設計荷重作用時にはダクト中にグラウトされているために FRP 定着係数は考慮しないこととした。また、プレテンション方式の場合には緊張力も小さく FRP 緊張材としてシングルストランドやロッド束を用いるので FRP 定着係数を考慮しないものとした。

5章 構造細目

5.1 最小補強材量

- (1) 部材には、その断面の0.15%以上の付着のある補強材を配置するのを原則とする。
- (2) 曲げモーメントの影響が支配的なプレストレストコンクリートけたの軸方向引張補強材の断面積は、式(5.1.1)により算出する値以上としなければならない。

$$A_t = 0.005 b_w \cdot d \quad (5.1.1)$$

ここに A_t : 軸方向引張補強材の断面積(cm^2)

b_w : けたのウェブ厚(cm)

d : けたの有効高(cm)

ただし、軸方向引張補強材がその必要補強材断面積の4/3以上それぞれ配置されている場合は、この規定によらなくてもよい。

- (1) プレストレストコンクリート部材でも、プレストレス導入前や、圧縮応力の作用していない方向には、コンクリートの乾燥収縮や温度勾配等によりひびわれが生じる可能性がある。このひびわれの大きさを有害でない程度に押さえるため、部材のいかなる断面においても、必要に応じて付着のある鋼材・FRP補強材を配置するように規定したものである。なお、FRP補強材は、一般的に付着特性は優れているがヤング係数が鋼材より小さく、ひびわれの大きさを有害でない程度に制御する機能について個々のFRP補強材の特性は明確でないのが現状である。したがって、FRP補強材の用心鉄筋としての適用にあたっては、検討が必要である。
- (2) コンクリートの引張強度は小さく、プレストレストコンクリートけたの破壊抵抗曲げモーメントは、その引張側に配置される軸方向引張補強材量と圧縮側コンクリートの耐荷力に支配される。したがって、軸方向引張補強材が極端に少ないけたは、設計で想定していない曲げ応力を受けると曲げひびわれとほぼ同時に軸方向引張補強材が降伏・破断し、破壊するおそれがある。この項は、プレストレストコンクリートけたの急激な曲げ引張破壊を防ぐために規定したものである。しかしながら、軸方向引張補強材としてFRP補強材のみを使用する場合、FRP補強材とPC鋼材および鉄筋と併用して使用する場合などが考えられる。この場合、各補強材の降伏点、引張強さおよびそのひずみを考慮することが必要であり、最小補強材量を一律に規定することは必ずしも妥当とは考えられない。このため、ただし書きで応力計算などにより必要となる補強材量との比率で別途除外規定を設けた。

5. 2 FRP 補強材の配置

(1) FRP 緊張材を曲線状に配置する場合の曲げ半径は次の値以上にしなければならない。

- 1) シースを用いる場合 5mまたはシース径の100倍のうちのどちらか大きい方とする。
- 2) シースを用いない場合 特に規定は設けず、実験その他の方法により確認しておくこととする。

(2) FRP 補強材のあきについては、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編4.4.2によるものとする。

(3) FRP 補強材の最小かぶりは、表-5.2.1の値以上、また、粗骨材最大寸法の4/3以上とする。

表-5.2.1 最小かぶり

部材の種類 環境条件	床版, 地覆, 高欄 支間 10m以下の 床版橋	け た	
		工場で作製される プレキャスト部材	左記以外のけたおよび支間 10mを超える床版橋
規定無し	2.5cm	2.5cm	2.5cm

(1) 一般に FRP 緊張材は、直線と円曲線または放物線を組み合わせた形状に配置される。用いる曲線の曲率半径が小さいと中心方向に大きな分力を生じたり、FRP 緊張材自体にも付加応力が生じるので最小半径の規定を設けたものである。シースを用いる場合の 5m という値は、実験により確認されている最小半径である。また、シースを用いない場合の最小半径については、現在有用なデータがないため実験その他の方法により確認することとした。FRP 緊張材は、PC 鋼材に比較して曲げ上げによる影響が大きいいため、曲げ半径は、できるだけ大きくするのが望ましい。

(3) FRP 補強材は耐食性に優れているため、塩害等が問題となる耐久性からの最小かぶりの規定は除外した。しかし、コンクリートと補強材との付着ひびわれが生じる可能性があるので 2.5cm 以上の規定を設けた。また施工性の点より粗骨材最大寸法の 4/3 倍以上とした。また、プレストレストコンクリート道路橋の補強材として塩害劣化を起こさない FRP 材を用いることの意義を踏まえ、塩害対策を必要とする地域ではシースにおいても塩害による劣化を受けることのない材料を使用する必要がある、耐腐食性に優れた波付き硬質ポリエチレン管の使用が望ましい。

5. 3 FRP 緊張材の定着部

- (1) プレテンション部材の定着に必要な長さは、FRP 緊張材の呼び径の 65 倍としてよい。
- (2) 数多くの定着具を同一断面内に配置する場合は、定着具の数、引張力の大きさを考慮して定着部のコンクリートの断面形状および寸法を定めなければならない。
- (3) 定着部のコンクリートは、FRP 緊張材と直角な方向に生じる引張力に対して、適当な方法で補強しなければならない。

- (1) 表一解 2.1 に示すプレテンション用 FRP 緊張材は、PC 鋼より線と同等以上の付着強度を有しており、定着に必要な長さは FRP 緊張材の呼び径の 50 倍以下と報告されているので、道路橋示方書の規定に従った。
- (2) 最小定着具間隔、定着具の最小かぶりなどは試験等により定めなければならない。
- (3) PC 鋼材定着部と同様の方法で補強することができる。プレテンション方式のように付着により定着する場合、FRP 緊張材の付着強度が高いので付着割裂を生じやすい。したがって、定着部の十分な補強が必要である。

6 章 施 工

6. 1 適用の範囲

この章は、5章までの規定に基づいて設計された FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の施工について適用する。施工がこの章の規定によりがたいときは、設計における安全度などを別途検討しなければならない。

この章は5章までの規定により設計された FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の施工に関する一般的な事項を規定したものである。実際の施工にあたっては、この章の規定のみでは必ずしも充分でないこともあるが、そのような場合には、5章までの規定、特に許容応力度の値、終局荷重作用時の荷重に乗じる係数などについて別途検討しなければならない。

6. 2 材料の取扱い

6. 2. 1 FRP 緊張材

- (1) FRP 緊張材は、2 章 使用材料に適合するものを用いなければならない。
- (2) FRP 緊張材の表面は清浄にして置かなければならない。使用に当たっては、付着を害するおそれのある油類、その他はこれをぬぐい去らなければならない。
- (3) FRP 緊張材は、直接地上におくことを避け、倉庫内、または適当な覆いを用いて貯蔵しなければならない。
- (4) FRP 緊張材は、有害な変形や衝撃を与えないように取り扱わなければならない。
- (5) FRP 緊張材および定着具は、道路橋示方書に規定する施工精度を満足するように配置し、コンクリートの打込みなどによって動かないように堅固に保持しなければならない。

- (3) FRP 緊張材は、こすれ等による傷・変形によって品質が劣化する傾向が特に強い、また、アラミド繊維では耐紫外線特性が一般に劣るといわれているので、貯蔵・取扱いにあたっては、その点に留意する必要がある。

コイル状に巻いて貯蔵する FRP 緊張材は、巻き半径があまり小さくなると損傷や強度低下が生じる場合があるので、各材料で定められた径以上で貯蔵しなければならない。また、コイルを多段に積み重ねて貯蔵すると、上載の荷重によって有害な変形が生じ、強度低下の原因になることがあるので、段数を制限するなどの処置を講じなければならない。コイル状に巻かれた FRP 緊張材を取り出すときにも、定められた曲げ半径以下にならないように注意しなければならない。

- (4) プレテンション方式の場合、配置された FRP 緊張材が、緊張時およびコンクリート締固め時に、端部型枠等との接触により損傷する恐れがあるので、FRP 緊張材配置位置には緩衝材を配置し、直接、型枠に触れないようにすることが望ましい。

- (5) FRP 緊張材に所定の引張力を与えても、FRP 緊張材が正確に配置されていないと部材に所定のプレストレスを導入することができない。そこで、FRP 緊張材の配置は道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 16.13 に準じて行うものとする。

なお、FRP 緊張材は比重が鋼材より小さいため、コンクリート打込み時の浮力に対しても注意し、固定する必要がある。

6. 2. 2 定着具および接続具

- (1) 定着具および接続具は、2 章 使用材料に適合するものを用いなければならない。
- (2) 定着具および接続具は、倉庫内に貯蔵し、油、ごみ等の付着を防がなければならない。

- (1) FRP 緊張材は一方向にのみ強化されているので、これを通常の PC 鋼材用の定着具を用いて緊張すると、軸方向の引張応力と同時に横方向の圧縮応力とこれに伴うせん断応力が生じ、FRP 緊張材自体の有する強度を充分発揮できずに破断する。このためこれまでに次に示すような、FRP 緊張材専用の各定着方法が研究・開発されている。

1) くさびによる方法

専用のくさびと外筒管を使用し、PC 鋼材の場合とほぼ同様に定着する方法である。定着には、くさびの押し込みによる方法と、外筒管をナットで固定する方法がある。

2) ダイカストによる方法

FRP 端部に、特殊合金を溶融金型成形し、この部分をくさびで定着する方法である。

3) 樹脂またはセメントモルタルを充填する方法

筒状の定着具に樹脂またはセメントモルタルを充填して FRP 端部を固定する方法である。定着はナットを用いて行う。樹脂またはセメントモルタルの付着力で固定するため、表面に凹凸がない素材では定着長が長くなり過ぎ、凹凸がある素材に有効な方法と考えられる。

4) 膨張材充填による方法

鋼管中に挿入した FRP 端部に、膨張材の膨張圧による圧縮力を与えて固定する方法である。定着は、くさびまたはナットを用いて行う。

6. 2. 3 シース

- (1) シースは、2章 使用材料に適合するものを用いなければならない。
- (2) シースは、倉庫内、または適当な覆いを用いて貯蔵し、有害な腐食を防ぐとともに、油、ごみ等の付着や損傷、変形を受けないようにしなければならない。
- (3) シースは、その取扱い中あるいはコンクリートの打込みの際に容易に変形しにくく、その合わせ目や継目などからセメントペーストが流入しないものでなければならない。

- (1) プレストレストコンクリート橋の緊張材として、塩害対策を必要とする地域では塩害劣化を起こさないFRP材料を用いることの意義を踏まえ、シースにおいても塩害を受けることのない材料を選択することが必要である。シースの必要条件は、可撓性、付着性に加え、耐候性に優れることである。また、緊張時のシースとFRP緊張材のこすれに伴うFRP緊張材への影響についても把握しておく必要がある。
- (3) シースがコンクリート打込みの際につぶれたり変形したりすると、FRP緊張材の挿入やグラウトの注入に支障をきたすことがある。したがって、断面方向にはつぶれにくい節付きのものや波付きのものをを用いることが望ましい。

6. 3 コンクリートの施工

6. 3. 1 締固め

コンクリートの締固めに内部振動機を用いる際は、FRP補強材に損傷を与えないようにしなければならない。

FRP補強材は、締固めの際に内部振動機と直接接触した場合には損傷を受ける危険性があるので、ウレタン等で防護した内部振動機を用いるのが望ましい。

6. 3. 2 養生

蒸気養生を行う場合は、コンクリートの打込み後3時間以上経過してから加熱を始めることを原則とする。養生室の温度上昇は、原則として1時間当り15度以下、養生中の温度は65度以下とし、かつFRP補強材に影響が及ばない温度としなければならない。

蒸気養生を行う場合、FRP補強材によっては材質変化を生ずる恐れのあるものもある。したがって、蒸気養生を行う場合には、使用しているFRP補強材およびその定着部の温度特性を充分把握する必要がある。

6. 4 プレストレッシング

6. 4. 1 一般

- (1) FRP緊張材は、所定の引張力が導入されるように緊張しなければならない。

(2) プレストレッシングの作業中の危険予防については、特に留意しなければならない。

(2) FRP 緊張材に導入する引張力は非常に大きいので、定着具あるいはプレストレッシング装置が破壊したりすると付近に危害を及ぼすおそれがある。したがって、プレストレッシング装置の背後には、万一に備えて防護工を設置し、緊張中にはジャッキの後方に人を立たせたりしてはならない。

6. 4. 2 プレストレッシング時のコンクリートの圧縮強度

プレストレッシング時のコンクリートの圧縮強度は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 16.8.3 に準じなければならない。

プレテンション方式の場合、コンクリートとの間の付着力が小さい形状の FRP 緊張材を使用する時には別途検討が必要である。

6. 4. 3 プレテンション方式

(1) FRP 緊張材に導入する引張力は、緊張する際の摩擦損失、固定装置のすべりなどを考慮して、所定の値となるようにしなければならない。

(2) プレストレッシングの際は、引張力を導入した FRP 緊張材の固定装置を徐々にゆるめ、各 FRP 緊張材が一様にゆるめられるようにしなければならない。

(1) 各 FRP 緊張材を個々に緊張し、くさび形式の固定装置を用いて固定する場合は、ある程度のセット量があった後に固定される。緊張台の長さが比較的長い場合は、セット量による引張応力の減少量はある程度無視できるものであるが、移動ベンチ方式のように緊張台の長さが短い場合とか、セット量が多い固定装置の場合には、引張力の減少量を無視することはできない。

したがって、このような原因により引張力の損失が起こる場合は、その減少量をあらかじめ計算または実測により求め、これらの損失を考慮して所定の引張力が導入されるように緊張しなければならない。

(2) FRP 緊張材の固定装置を急激にゆるめると、コンクリートに衝撃を与え、FRP 緊張材とコンクリートの付着を害するおそれがあるから、固定装置をゆるめるときには徐々に行わなければならない。

また、高温促進養生を行った場合は、養生を終了してプレストレスを導入する前に、部材を完全に冷却させてしまうと、部材から露出した FRP 緊張材が破断するおそれがあるので、温度が下がりきらないうちにプレストレスを与えることが望ましい。

6. 4. 4 ポストテンション方式

(1) FRP 緊張材に導入する引張力は、緊張する際の摩擦損失、定着具における変形またはすべりなどを考慮して決定しなければならない。

(2) FRP 緊張材を1本ないし数本ずつ組にして順次に緊張する場合には、各段階においてコンクリートに有害な応力が生じないようにしなければならない。

また、この場合には、コンクリートの弾性変形によって各組に与えられた引張力が変化するから、この影響を考慮して FRP 緊張材端に導入する引張力を定めなければならない。

(1) FRP 緊張材に引張力を導入する場合、FRP 緊張材の引張力は、FRP 緊張材とダクトまたはスペーサー等との摩擦によって、引張端より遠ざかるに従って小さくなる。したがって、設計断面において、FRP 緊張材に所定の引張力を導入するためには、この摩擦損失を考慮して FRP 緊張材端に与える引張力を大きくすることが必要となる (3.2 参照)。

施工にあたっては、設計において仮定した摩擦損失の量が実際と異なることもあり、6.4.6 に従って摩擦損失の大きさを測定し、これによって FRP 緊張材端の引張力を定めなければならない。所要のプレストレスを設計断面に導入する際、摩擦が大きく、FRP 緊張材端に過大な引張力を与えることが必要となる場合には、減摩剤を塗布するか、あるいはダクト内に注入して摩擦損失を減少させるのがよい。この場合にはグラウトの注入に先立ち、これらの減摩剤は洗い流しておかなければならない。特に、FRP 緊張材をくさび方法の定着具によって定着する場合および引張装置にくさびで固定する場合は、減摩剤がこれらのくさびにつかないように注意しなければならない。もし、ついてしまった場合には、くさびと緊張材間の摩擦が減少し、定着が完全に行われなこともあるので、十分に水洗いをして減摩剤を除去しなければならない。

また、引張力を導入した FRP 緊張材をコンクリートに定着する際、定着具にセットがある場合には、あらかじめ許容セット量をきめておき、この許容セット量を超えた場合には、プレストレスング作業を再度行う必要がある (3.2 参照)。

(2) FRP 緊張材を1本ずつあるいは数本ずつの組とし、順次緊張して定着する場合は、すべての FRP 緊張材に引張力を導入して定着し終わるまでの間、一部の FRP 緊張材だけが引張られるために、その FRP 緊張材の位置と大きさによっては、部材にねじれ、あるいは横方向の曲げ、また、不静定構造物では不静定力などが生じ、部材の一部に許容応力を超えることがある。したがって、これらの影響を考慮して、各段階においてコンクリートに有害な応力が生じないように、FRP 緊張材を緊張する順序、方法ならびに引張力の大きさを定めなければならない。

ポストテンション方式においては、通常、FRP 緊張材がコンクリート部材から抜け出す量を測定し、この抜け出し量からコンクリートの弾性変形量を差引いて FRP 緊張材の伸びを求める。全 FRP 緊張材を同時に緊張する場合は、コンクリートの弾性変形量を無視することはできない。FRP 緊張材を1本あるいは数本ずつ組に分けて緊張する場合には、各組ごとのコンクリートの弾性変形量は、分けた組数にほぼ反比例して小さくなるから、組数の多い場合には、FRP 緊張材の抜け出し量を、そのまま全長に対する伸びと考えても差支えない。しかし、このような場合には、先に緊張した FRP 緊張材は、そのあとから緊張した FRP 緊張材によって起こるコンクリートの弾性変形のために、一般に当初の引張力が減少する。したがって、3.2 に示した方法に従い、FRP 緊張材の平均引張力の減少量を求め、各 FRP 緊

張材に導入する引張力を調整しておかなければならない。

FRP緊張材の抜け出し量の計算には、現場において試験によって求めたFRP緊張材の見かけのヤング係数を用いなければならない。見かけのヤング係数の値の中には、上記のFRP緊張材の抜け出し量と伸びの差による影響等も包含されている。

6. 4. 5 細 則

- (1) 型わくおよび支保工は、プレストレッシングにより、有害な変形、沈下などが生じないものでなくてはならない。
- (2) 定着具および部材端面は、プレストレッシング後、破損または腐食しないように保護しなければならない。
- (3) プレテンション方式の場合、プレストレス導入後FRP緊張材は桁端部と同一面となるようにしなければならない。

(1) プレストレッシングにより部材に生じる弾性変形を、型わくあるいは支保工が拘束すると、所定のプレストレス力を部材に導入できなくなるとともに、支保工がこの影響により崩壊する恐れがある。したがって、型わくの一部をプレストレッシングの前に取りはずして、プレストレッシング中の部材の変形に対する拘束を小さくすることが望ましい。

また、部材には部材軸方向、上下方向にも変形が生じることがあり、その変形を支保工が拘束すると、部材が上下方向の力を受けることになる。このため、必要に応じて、プレストレッシング作業中、支保工の一部を降下させるなどの処置を施すことも必要である。

(2) プレストレッシング後の定着具は、常に高い応力が作用している状態にあるので、外部からの衝撃により破損したり、雨水の浸入により腐食したりしないように、充分保護しなければならない。

(3) プレストレス導入後にFRP緊張材を切断する場合、ガス切断をするとFRP緊張材の性状に悪影響を及ぼすので、カッター、切断機等を使用して常温で切断しなければならない。なお、切断後のFRP緊張材は、端部の防錆処理を行う必要がない。

6. 4. 6 プレストレッシングの管理

プレストレッシングの管理は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編 16.8.6 に準じなければならない。

プレストレッシングは、PC鋼材を使用する場合と基本的に変わらないので道路橋示方書に準じて行うこととした。

プレストレッシングの管理は、「摩擦係数による管理方法」によりFRP緊張材1本ごとに管理図を作成し、異常が生じていないか注意しながら行うのがよい。摩擦係数 μ の管理限界は、実績が少ない場合は緊張計画時の設計計算等により検討して定めるとよい。直線配置や曲げ上げ角度が小さい場合には伸びによる管理で

行い、荷重計の示度と伸びによって管理するのがよい。

なお、プレストレッシング装置のキャリブレーションならびに摩擦係数およびFRP緊張材の見かけのヤング係数は、道路橋示方書に準じて求めるものとする。摩擦係数の測定は、工事開始時期に行い、緊張管理中に異常が認められた場合は再度行わなければならない。

各種FRP緊張材のヤング係数および摩擦係数については表-2.2 および表-解3.2.1を参照されたい。

6.5 グラウトの施工

6.5.1 一般

グラウトは、FRP緊張材を保護し、FRP緊張材とコンクリート部材の間の一体性が確保できるものでなければならない。

グラウト注入作業はプレストレストコンクリートけたの施工のうちでも耐久性に影響する最も重要な作業であり、施工にあたっては、注入器具の点検、現場条件、材料の品質などに十分な注意を払わなければならない。

ダクト内は、グラウトで完全に充填しなければならない。また、プレストレスを導入した後、できるだけ早い時期にグラウトの注入作業を行う必要がある。

7章 品質管理

7.1 一般

要求品質を満足するプレストレストコンクリート道路橋をつくるため、コンクリート、FRP補強材、鉄筋、グラウト、定着具、接続具など、使用する材料の品質をはじめとし、機械、設備や作業内容にいたるまで、適切に管理しなければならない。

品質管理は、要求品質を満足するプレストレストコンクリート道路橋を安全に、かつ経済的に造るために工事のすべての段階で行わなければならない。その目的を果たすために、使用する材料はもちろんのこと、機械、設備や作業内容にいたるまで、適切に管理しなければならないと考え、上記のとおり規定した。

FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の場合でも、品質管理についての基本的事項は、他のRC、PC構造物と異なるところはないと考えられるので、コンクリート標準示方書、「プレストレストコンクリート工法設計施工指針〔土木学会コンクリートライブラリー66〕」等に準拠することとした。また、FRP緊張材を用いた場合に特有の事項であっても、本章で特に示さなかったことについては「連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用〔土木学会コンクリートライブラリー72〕」や、官民共同研究報告書を参考にするとよい。

7.2 試験による管理

7.2.1 試験方法

試験方法は、JIS等に定められた方法にしたがうことを原則とする。

FRP緊張材、定着具、およびシースの試験方法については、統一的な試験方法を定めた基準類が現在のところないので、JISの他、7.1の解説で示した資料を参考にすれば良い。

7.2.2 FRP緊張材の試験

FRP緊張材は以下に示す項目について試験を行い、その品質を確認したうえで使用することを原則とする。

- (1) 引張強度
- (2) ヤング係数
- (3) 付着強度
- (4) 疲労強度(動的、静的)
- (5) クリープ特性

- (6) 熱膨張率
- (7) リラクセーション率
- (8) 耐食性・耐候性

新開発のFRP緊張材を使用する場合を想定し、構造物を設計するために必要な基本物性値や、環境条件等がそれらの基本物性値に与える影響を把握するという観点から、上記のとおり規定した。

現在、FRP補強材には様々なものがあり、その力学的特性も極めて広範囲にわたっている。これらをPC鋼材や鉄筋の代替として利用しようとする機運が高まりつつあるが、現在のところ統一的な試験方法に従って行われた材料試験データの蓄積が乏しく、設計に必要な基礎データを同一の尺度で評価しがたいことや、製造過程における品質のばらつきが、鉄筋やPC鋼材と比較して大きいことなどが指摘されている。統一的な試験方法や材料規格を定めることは今後の課題であるが、試験方法については、当面、7.1の解説に示した資料を参考にすれば良い。その他、実際の施工条件と上記の試験の試験条件が異なる場合や、実際の施工条件を考慮して上記にはない試験が必要と考えられる場合には、責任技術者の判断により試験方法を定め、これを実施することとする。

表-2.1に示したCFRP (I)、CFRP (II)、AFRP (I)、AFRP (II)のように、既に十分な試験が行われ、その材料特性や設計に必要な諸定数が把握されている場合であっても、実際に使用する製品の品質と設計時に基準とした品質が同等であることを確認する必要があると考え、少なくとも引張強度とヤング係数については試験を行うこととする。

7. 2. 3 定着具及び接統具の試験

- (1)定着具および接統具は、用いる前にその品質を確かめるための試験をしなければならない。ただし、品質が保証され、実績のあるものはこれを省略することができる。
- (2)定着具および接統具は、所定の荷重以下で破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造および強さを有するものでなければならない。
- (3)定着具および接統具の品質を確かめるための試験は、使用状態および引張力の作用状態を十分に再現できるような適切な方法で行わなければならない。

(1) FRP緊張材の利用技術で、定着具および接統具の性能は重要である。表-2.1に示されたCFRP (I)、CFRP (II)、AFRP (I)、AFRP (II)の定着具についても改良される可能性がある。今後、定着具が改良された場合や非金属製の定着具や接統具が開発された場合、その品質を確認するための試験を行うことが原則である。

(2) 定着具または接統具の性能を確認する場合には、定着具または接統具とコンクリートを組み合わせた試験や、定着具または接統具と緊張材を組み合わせた試験により、その性能を確かめることとする。併せて使用する定着具固有の特性（例えば、くさびを使用した定着具のセット量など）も把握しておくのがよい。

その試験結果は次の項目を満足するものとする。

① 定着具または接統具とコンクリートを組み合わせた試験。

定着部（定着具，接統具およびその近傍のコンクリートを含む部分）は FRP 緊張材の規格引張荷重に FRP 定着係数 R を乗じた値以上の荷重に耐え得ること。

② 定着具または接統具と緊張材を組み合わせた試験

定着具や接統具は，FRP 緊張材の規格引張荷重に FRP 定着係数 R を乗じた値の 95%以上の荷重を安全に保持できること。

- (3) 定着具や接統具の試験条件と実構造物中での使用状態の差が問題となる場合には，定着具や接統具自身の試験とは別に，実際の施工方法や使用状態を想定した定着部や接統部の部分模型試験等を行うことも重要である。

実構造物においては温度や劣化環境条件が異なり，また疲労強度等が問題となることもある。緊張材の試験の場合と同様に，責任技術者はこれらの諸条件を考慮して試験方法や試験条件を定める必要がある。

7. 2. 4 シースの試験

原則として，シースは，用いる前にその品質を確かめるための試験をしなければならない。ただし品質が保証され，実績のあるものはこれを省略することができる。シースの試験は，その材料特性やシースとして必要な性能を考慮して，適切な方法で行わなければならない。

耐久性，耐食性に富む新素材を利用したシースが開発される可能性はあり，これら新しく開発されたシースを用いる場合を考慮して，上記のとおり規定した。

標準的な試験方法は，7. 1 の解説で示した資料を参考にすればよいが，シースの材質によっては以下に示すような性能を確認する必要がある場合も考えられるので，責任技術者は使用するシースの材質や特性を十分考慮して，適切な方法で試験を行なうこととした。例えば，要求される性能として，次のものが考えられる。

- ① 荷重により緊張材に生じた引張力（圧縮力）をグラウトおよびシースを介して十分にコンクリートに伝達できること。
- ② コンクリートやグラウトと，シースの熱膨張率に差がある場合，温度変化等により有害なひびわれが発生しないこと。

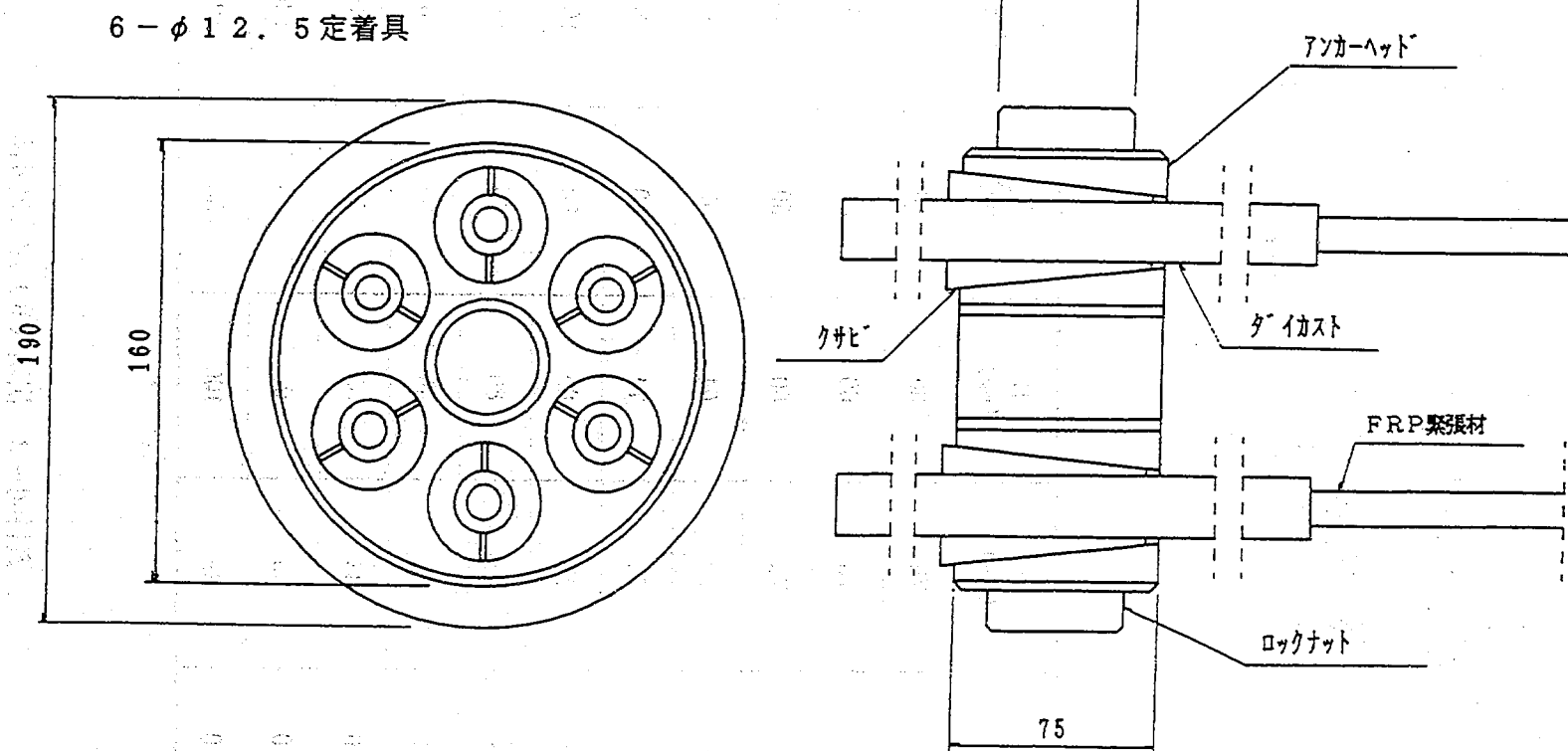
資料編

1000 1000 1000

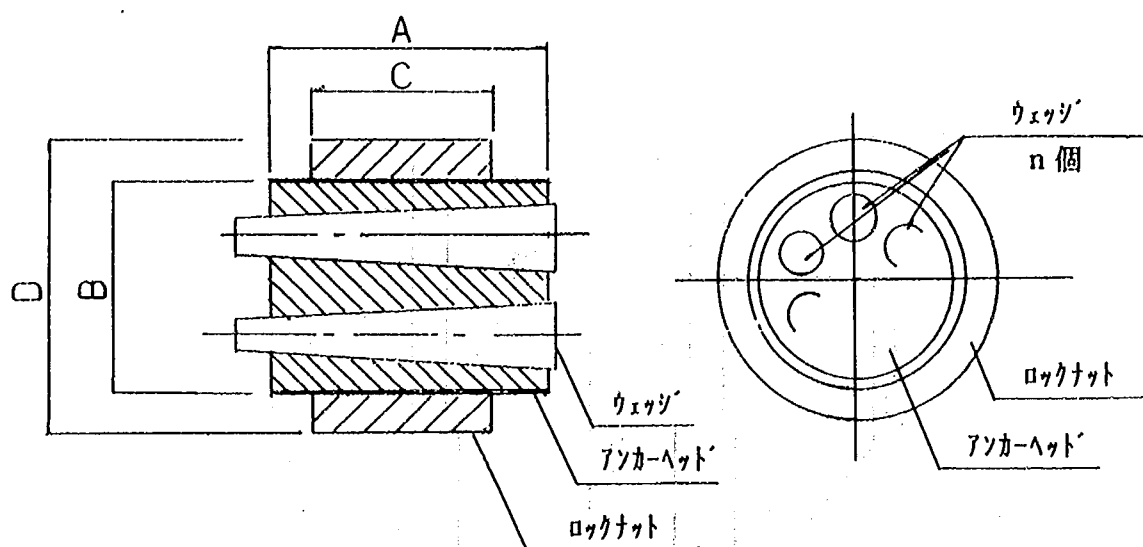
資料表－１ その他の緊張材

繊維	種 類	形 状	FRP 緊張材構成	線 材 呼び名	方 式	定着 方式	引張 荷重 (tf)	有効 断面積 (mm ²)
炭 素	CFRP (I)	より線	1－φ19.3	19.3mm 19本より	シングル	樹脂	28.2	180.2
			1－φ20.3	20.3mm 19本より	シングル	樹脂	30.3	193.9
			1－φ21.8	21.8mm 19本より	シングル	樹脂	34.7	222.2
			1－φ25.0	25.0mm 19本より	シングル	樹脂	45.5	290.9
			1－φ28.0	28.0mm 19本より	シングル	樹脂	58.5	374.1
			6－φ15.2	15.2mm 7本より	マルチ	くさび	97.4	681.6
			8－φ15.2	15.2mm 7本より	マルチ	くさび	129.9	908.8
			10－φ15.2	15.2mm 7本より	マルチ	くさび	162.4	1136.0
	CFRP (II)	イン デン ティ ッド ロ ッド	2－φ8	8mm インデンティッド	マルチ	くさび	20.0	92.2
			3－φ8	8mm インデンティッド	マルチ	くさび	30.0	138.3
			5－φ8	8mm インデンティッド	マルチ	くさび	50.0	230.5
			7－φ8	8mm インデンティッド	マルチ	くさび	70.0	322.7
			8－φ8	8mm インデンティッド	マルチ	くさび	80.0	358.8
			9－φ10	10mm インデンティッド	マルチ	くさび	135.0	662.4
ア ラ ミ ド	AFRP (I)	縦 紐 ロッド	1－φ10.4	10.4mm 組紐	シングル	くさび	12.0	85
			1－φ12.7	12.7mm 組紐	シングル	くさび	18.0	127
			1－φ14.7	14.7mm 組紐	シングル	くさび	24.0	170
			1－φ18.0	18.0mm 組紐	シングル	くさび	35.0	254
			6－φ10.4	10.4mm 組紐	マルチ	くさび	72.0	510
			3－φ12.7	12.7mm 組紐	マルチ	くさび	54.0	381

繊維	種類	形状	FRP 緊張材構成	線材 呼び名	方式	定着 方式	引張 荷重 (tf)	有効 断面積 (mm ²)
アラミド	AFRP (Ⅰ)	組紐 ロッド	4 - $\phi 14.7$	14.7mm 組紐	マルチ	くさび	96.0	680
			6 - $\phi 14.7$	14.7mm 組紐	マルチ	くさび	144.0	1020
	AFRP (Ⅱ)	異形 ロッド束	3 - $\phi 6$	$\phi 6$	マルチ	モルタル 充填	15.2	84.9
			4 - $\phi 6$	$\phi 6$	マルチ	モルタル 充填	20.4	113.2
			19 - $\phi 6$	$\phi 6$	マルチ	モルタル 充填	96.9	537.7
			2 - $\phi 7.4$	$\phi 7.4$	マルチ	モルタル 充填	15.2	84.8
			3 - $\phi 7.4$	$\phi 7.4$	マルチ	モルタル 充填	22.8	127.2
			9 - $\phi 7.4$	$\phi 7.4$	マルチ	モルタル 充填	68.4	381.6
			12 - $\phi 7.4$	$\phi 7.4$	マルチ	モルタル 充填	91.2	508.8

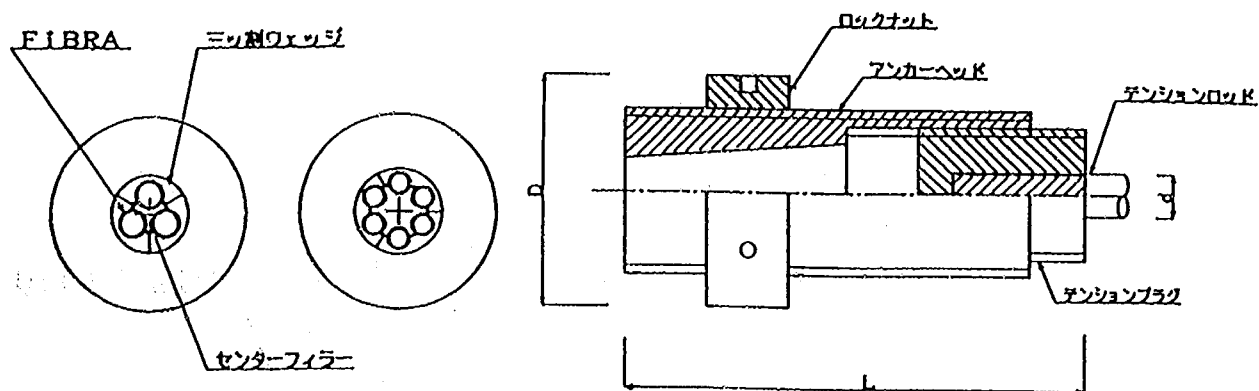


資料図-1 炭素 (I) 定着具寸法



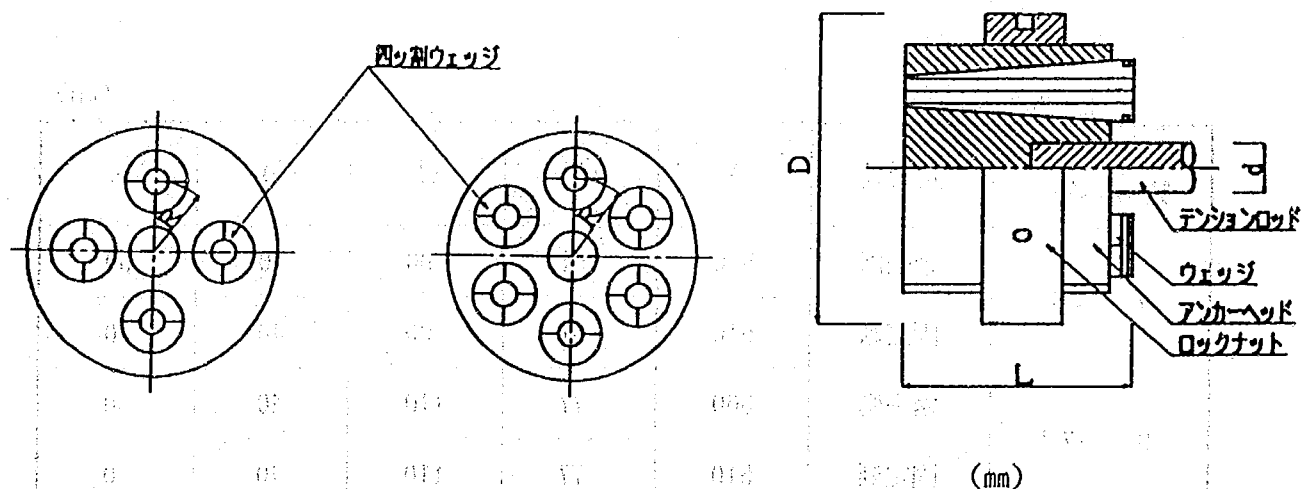
FRP 緊張構成	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	ウェッジ 個数 n
1 - $\phi 8$	75	36	50	60	1
2 - $\phi 8$	75	60	50	80	2
3 - $\phi 8$	75	60	50	80	3
4 - $\phi 8$	75	64	50	84	4
5 - $\phi 8$	75	74	50	84	5
7 - $\phi 8$	75	80	50	105	7
8 - $\phi 8$	75	80	50	115	8
1 - $\phi 10$	85	40	50	60	1
6 - $\phi 10$	85	85	50	110	6
7 - $\phi 10$	85	95	50	120	7
9 - $\phi 10$	85	100	50	125	9

資料図-2 炭素(Ⅱ)定着具寸法



(mm)

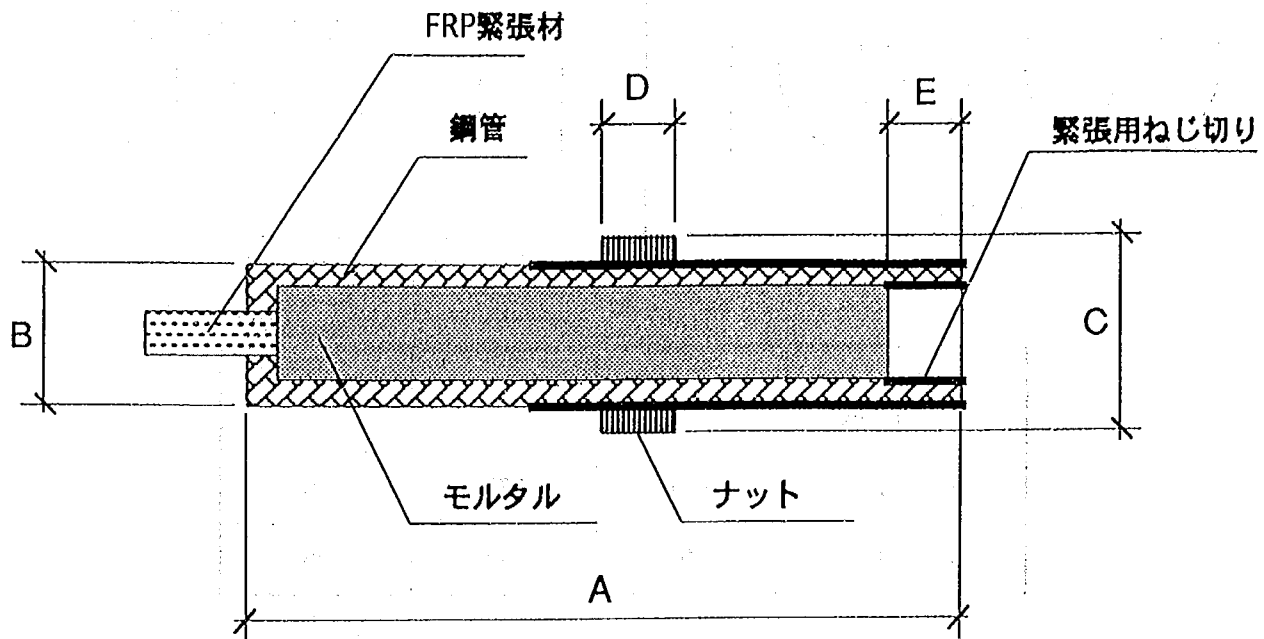
FRP 緊張材構成	D	L	d
6 - $\phi 10.4$	160	277	26
3 - $\phi 12.7$	140	277	26



(mm)

FRP 緊張材構成	D	L	d
6 - $\phi 12.7$	190	110	40
4 - $\phi 14.7$	190	145	32
6 - $\phi 14.7$	200	145	32

資料図-3 アラミド (I) 定着具寸法



(mm)

FRP 緊張材構成	定着具	A	B	C	D	E
7 - $\phi 6$	緊張側	560	61	90	40	50
	固定側	510	61	90	40	0
9 - $\phi 7.4$	緊張側	560	77	110	40	50
	固定側	510	77	110	40	0
12 - $\phi 7.4$	緊張側	570	102	130	40	50
	固定側	520	102	130	40	0
19 - $\phi 6$	緊張側	590	102	130	40	60
	固定側	530	102	130	40	0

資料図-4 アラミド(Ⅱ)定着具寸法

3. 材料試験方法（例）

（1）適用範囲

ここで示す材料試験方法は、官民共同研究で行われた試験方法をまとめたものである。

FRP 緊張材を用いる場合、ここで示した試験方法を参考にして、試験を行うことができる。

（2）FRP 緊張材の引張試験方法

i) 試験場所

試験場所の温度は $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度を記録し、試験終了時まで一定に保つ。

ii) 引張試験装置

引張試験装置は以下の条件を満足するものを使用すること。

- ① 供試体の引張耐力より大きな引張能力を有すること。
- ② 所定の加力速度を一定に保つことができること。
- ③ 引張試験時に供試体取り付け部分で破壊や滑りなどが生じない構造であること。

iii) 定着方法

- ① 引張試験時において、供試体が定着部で破壊または滑りなどを生じない方法で行う。
- ② 供試体の加力中心軸は、引張試験装置の引張軸とずれを生じないこと。

iv) 試験体寸法

① 全長 (L)

定着部およびつかみ部の長さを含めた供試体の全長

② 試験区間長さ (L') ※1

全長から定着部およびつかみ部を除いた部分の長さで、 $L' = 400\text{mm}$ とする。

③ 定着部およびつかみ部の長さ (b)

引張試験において、試験装置に取り付けるための定着治具や補強を施す部分の長さ、及び装置のチャックに取り付ける部分の長さ。

その他、試験片は実際の製品から製作し、定着部を除き加工を施さないことを原則とする。

v) 試験片の数

試験片の数は 6 個を原則とする。

vi) 載荷速度 ※4

載荷速度の設定方法については、以下に示す 2 ケースが考えられる。

ケース 1: 繊維の体積含有率 V_{fa} を考慮して、FRP 材中の繊維自体に、 $50 \pm 5\text{kgf}/\text{mm}^2/\text{分}$ の割合で引張荷重が作用する速度とする。 ※2

ケース 2: 繊維の体積含有率を考慮しない。樹脂部分を含む全断面積に対して、 $50 \pm 5\text{kgf}/\text{mm}^2/\text{分}$ の割合で引張荷重が作用する速度とする。

vii) 測定

① 荷重

引張試験時の荷重は、ロードセルを用いて測定する。試験装置に付属していれば、これを用い

ても良い。

② ひずみ

引張試験時のひずみは、ひずみゲージ、またはクリップ式変位計などを用いて測定する。いずれの方法においても、試験中に剥離やクリップのずれが生じないようにする。

③ 破壊状況

各供試体での破断位置および破壊状況を記録する。(図、写真など)

viii) 結果

1回の試験結果は、6個の試験結果の平均測定値とする。あわせて供試体数 n 、標準偏差 σ などを求めておく。

① 引張耐力 (P_u)

引張試験中に記録した最大荷重。

② 引張強度 (σ_{pu})

引張耐力を供試体の公称断面積 (別章で規定) で除した値。

③ $\sigma - \varepsilon$ 曲線

引張試験中に測定した応力 (荷重を供試体の公称断面積で除した値) とひずみにより求める。

$\sigma - \varepsilon$ 曲線には、以下の値を示しておく。※3

- ・ 引張強度 (σ_{pu})、引張最大荷重時ひずみ (ε_{pu})
- ・ ヤング係数：使用した応力点を明記し、割線係数を用いる。
- ・ 降伏点 (σ_{py})、降伏時のひずみ (ε_{py})

： $\sigma - \varepsilon$ 曲線において応力が増加することなく、ひずみが増加し始める点の引張応力、ひずみ

- ・ 比例限界 (σ_{pel})、比例限界ひずみ (ε_{pel})

： $\sigma - \varepsilon$ 曲線が直線から離れ始める時の応力、ひずみ

- ・ 破断時強度 (σ_u)、破断時ひずみ

【参考資料】

※1, 3 『新補強材料および新補強コンクリートの評価項目と評価方法 (案)』

.....日本建築学会

『コンクリート補強用材料としての新素材の基準および試験方法に関する試案』

.....コンクリートライブラリー 68号, 土木学会

※2 『コンクリート補強用材料としての新素材の基準および試験方法に関する試案』

.....コンクリートライブラリー 68号, 土木学会

※4 載荷速度を決定する時に使用した緊張材の断面積を以下に示す。

各緊張材の全断面および繊維部分の断面積一覧表

	CFRP(Ⅰ)	CFRP(Ⅱ)	AFRP(Ⅰ)	AFRP(Ⅱ)	GFRP
全断面積 A_r (mm ²)	76.0	44 49	84.95	28.3	50
繊維の体積 含有率 V_{fa} (%)	63.8	65 65	72.6	65.0	68
繊維部分の 断面積 A_{fa} (mm ²)	48.5	29 32	61.7	18.4	34

註) i) A_r : 樹脂部分を含む緊張材の全断面積

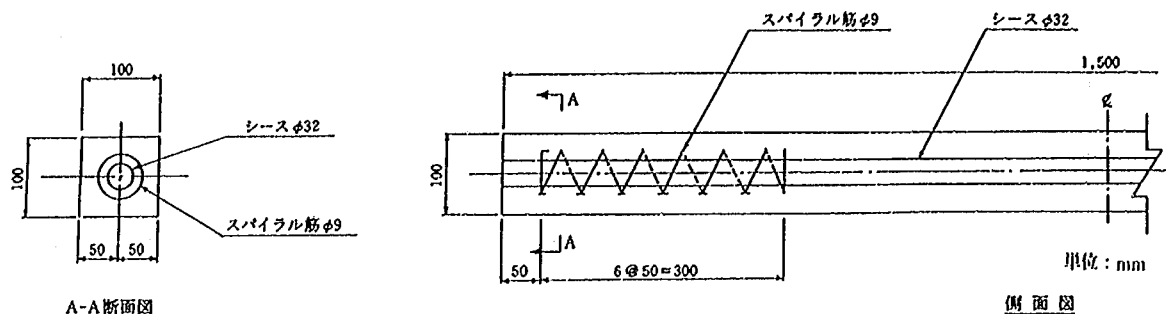
A_{fa} : 繊維部分の断面積

$$A_{fa} = (V_{fa}/100) \times A_r$$

ii) CFRP(Ⅱ) グループの各項目のうち、上段はプレテン用緊張材の値、下段はポステン用緊張材の値である。

(3) 見かけのリラクセーション試験

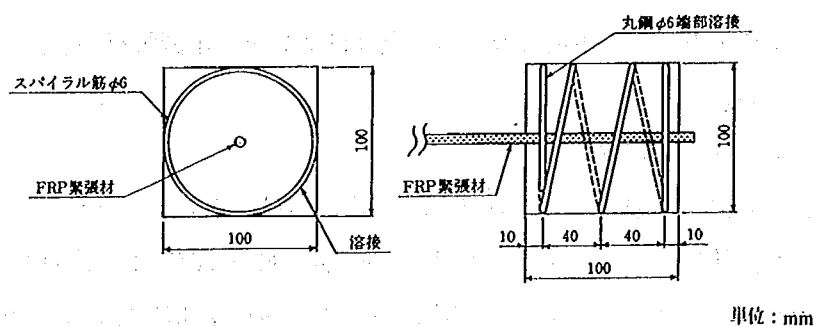
資料図-5 に、供試体の形状および寸法を示す。供試体は、ポステンション方式のコンクリート製で計 48 体製作した。使用したコンクリートは、圧縮強度 364~384kgf/cm² のものである。温度が 20℃ で湿度が R.H.70%，および温度が 40℃ で湿度が R.H.70% の恒温恒湿室にそれぞれ 24 体ずつ供試体を設置した。PC 鋼材および各 FRP 緊張材には、加工メーカーが保証するそれぞれの引張強度の 50%，65% および 80% の緊張力の導入を行った。これらの初期の緊張力によるコンクリートの応力度は、それぞれ 26kgf/cm²~45kgf/cm²，33kgf/cm²~59kgf/cm² および 41kgf/cm²~72kgf/cm² の範囲に相当する。PC 鋼材および各 FRP 緊張材の引張荷重は、ロードセルに連結した自動計測器を用いて経時的に測定した。



資料図-5 見かけのリクラセーション試験用供試体

(4) 付着試験

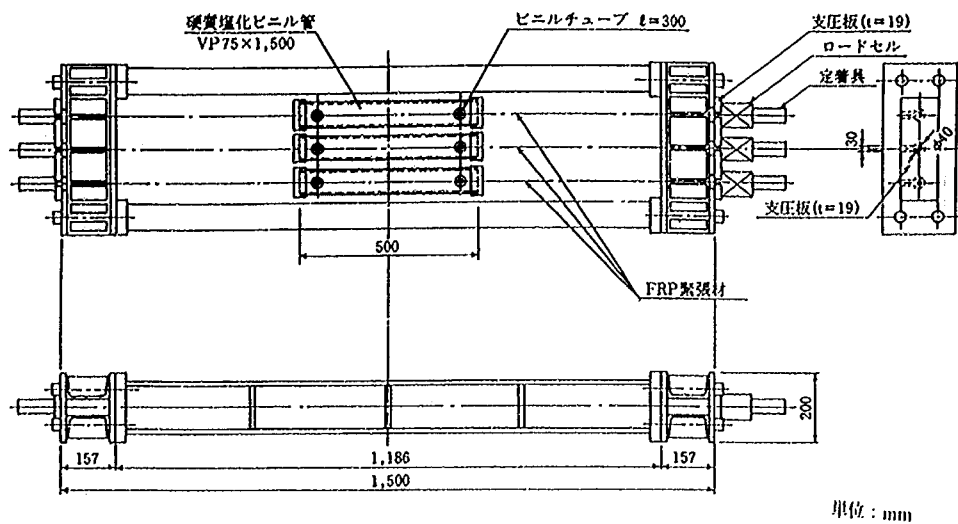
(社)日本コンクリート工学協会の試験方法「引抜き試験(案)」に準じて、資料図-6に示すような一辺10cmのらせん筋を有する立方体のコンクリート供試体を製作した。使用したコンクリートは、圧縮強度が $357\sim 465\text{kgf/cm}^2$ のものである。付着試験としては、常温の状態で行う静的付着試験、供試体の中心温度が 40°C 、 60°C および 70°C に達してから1時間以上経過した時点で、それらの温度を保持しながら試験を行う高温下での付着試験、および供試体の中心温度で 10°C と 30°C の繰返しを100回終了後に常温において試験を行う温度繰返し後の付着試験の三水準とした。なお、高温下での付着試験および温度繰返し後の付着試験の際の供試体中心温度の昇降は、単位時間当たり 30°C 以下とした。



資料図-6 付着試験用供試体

(5) 劣化促進試験

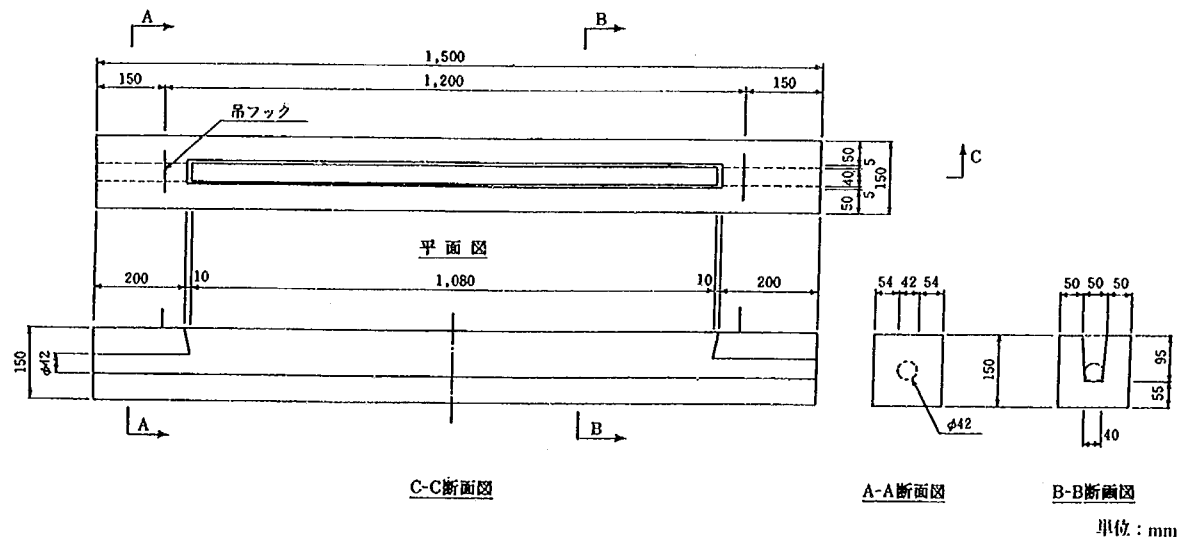
鋼材およびFRP緊張材に、加工メーカーが保証するそれぞれの引張強度の0.65倍の緊張力を与えながら試験溶液に浸漬する試験、および無載荷の状態で行う試験溶液に浸漬する試験を行った。資料図-7に前者の試験で用いた供試体の形状寸法を示す。前者の試験では試験片の長さを150cmとし、試験溶液の温度を 40°C とした。また、後者の試験では、試験片の長さを100cmとし、試験溶液の温度を 50°C とした。試験溶液は、日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針(案)」を参考に、水酸化カルシウムを飽和した3%の食塩水とした。いずれの供試体についても、試験前および試験溶液に300時間以上浸漬した後に、JIS Z 2241(金属材料引張試験方法)を参考にアムスラー型万能試験機を使って引張試験を行った。



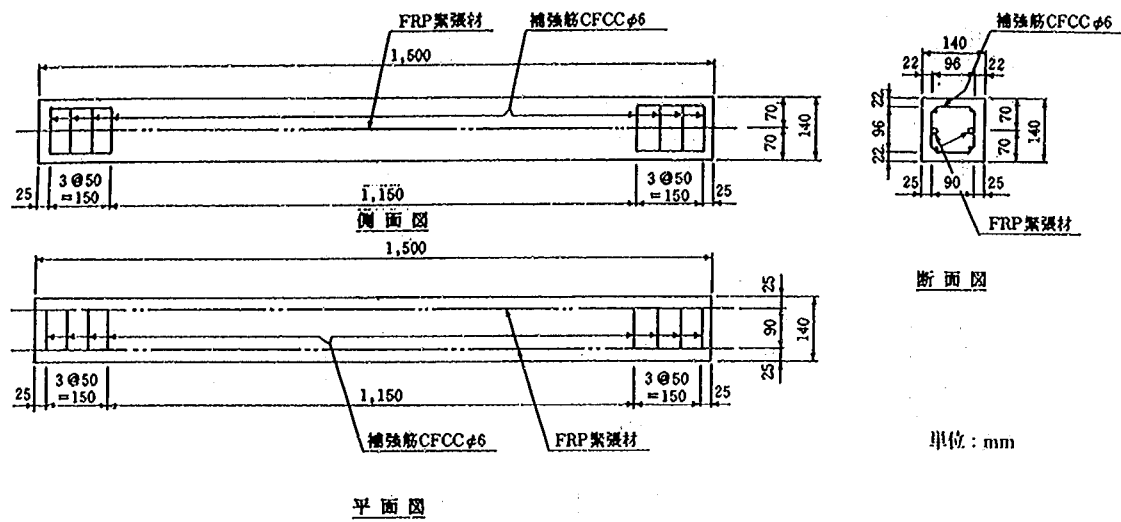
資料図-7 劣化促進試験用供試体

(6) 自然暴露試験

供試体は、資料図-8に示すポストテンション方式でかぶりを設けずにPC鋼材およびFRP緊張材を配置したもの、ならびに資料図-9に示すプレテンション方式でかぶりを2.5cmとったものの2種類とした。PC鋼材およびFRP緊張材には、加工メーカーの保証する引張強度の0.65倍と0.80倍に相当する緊張力を与えた。供試体の暴露場所は、静岡県大井川町先250m 海洋技術総合研究施設とし、約3年間暴露した。



資料図-8 自然暴露試験用コンクリート供試体（ポストテンション方式）

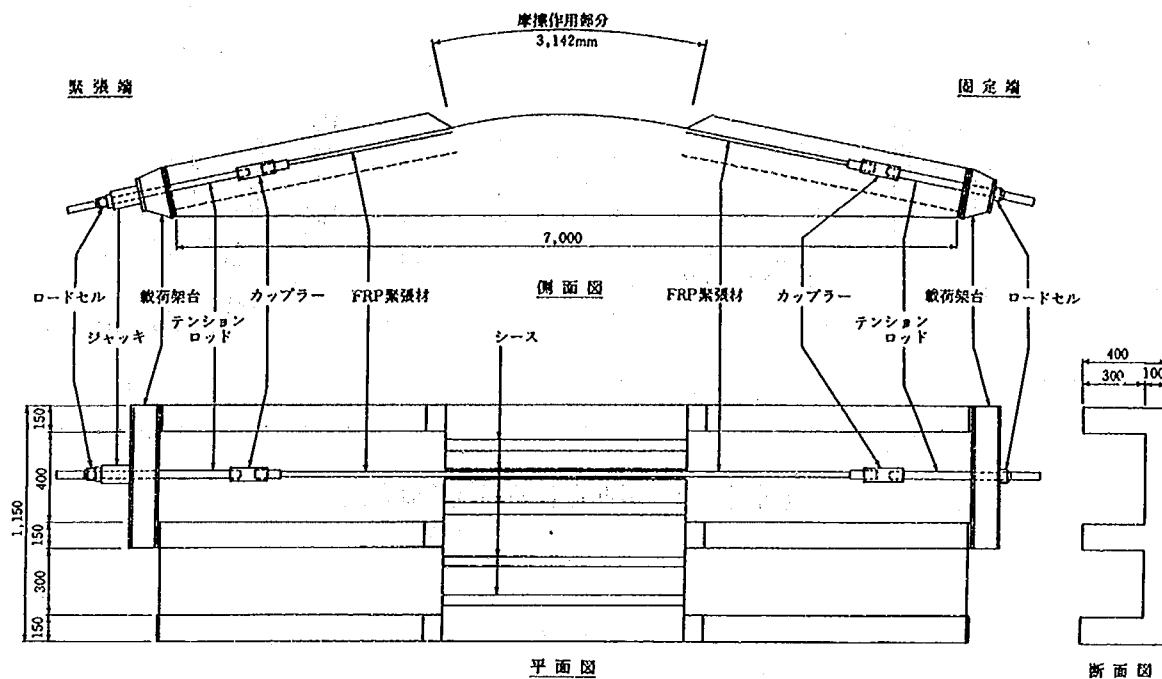


資料図-9 自然暴露試験用コンクリート供試体（プレテンション方式）

(7) 摩擦係数試験

実験は曲げ角度 30 度, 曲げ半径 6m および曲げ角度 15 度, 曲げ半径 12m の 2 ケースについて行い, それぞれのケースでシースと緊張材が接する長さを 3.14m と同一にした。

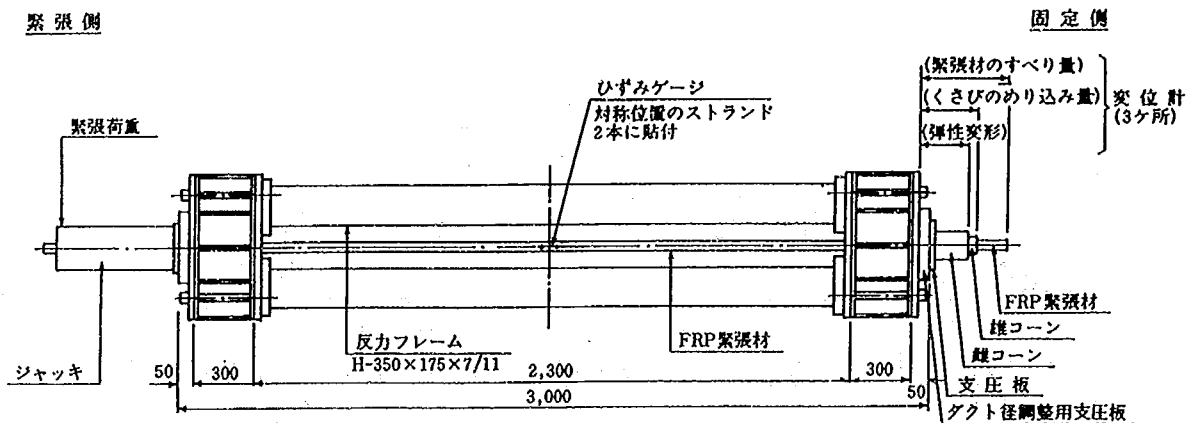
試験方法は以下のとおりである。まず載荷用架台に緊張材をセットし, 緊張端側に取り付けたロードセルでセル出緊張力を測定しながら保証荷重の 10% ずつ緊張力を増加させ, 固定端側に取り付けたロードセルで緊張力を測定した。最終緊張力は 0.7Pu である。また同一シースで 3 回測定を行った。



資料図-10 摩擦係数試験装置概念図

(8) 短期定着効率試験方法

短期定着効率試験では、20℃および40℃の恒温室において、それぞれのマルチケーブルを保証引張荷重まで緊張し、5分間保持後除去する間、緊張材の緊張力におよびひずみ、定着具の変形を計測する。試験は5種類の新素材を20℃および40℃で各3本、合計30本について行なう。計測は原則として保証引張荷重の20、40、60、65、80、95、100%の各段階で行なうこととし、100%に達する前に破断あるいは引抜けが生じたものはその荷重を記録する。



注) 定着具の形状により計測変位は異なる

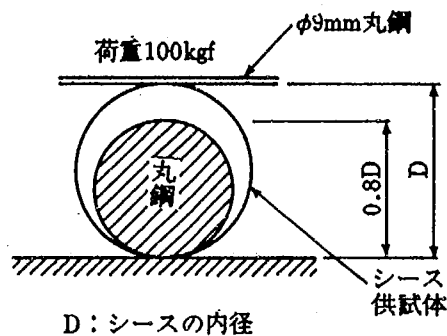
資料図-11 短期定着効率試験概念図

(9) シース試験方法

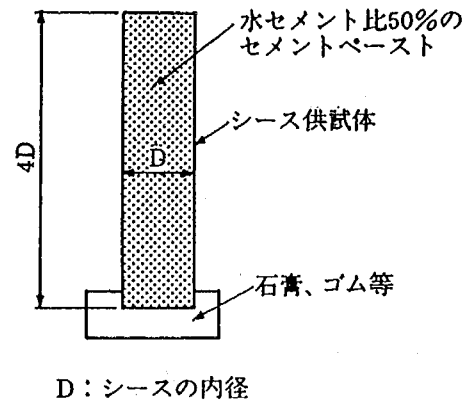
i) 局所的な外力に対する抵抗力試験

試験は資料図-12 に示すシース内の 0.8 倍の直径を有する丸鋼を挿入した、長さが内径の 4 倍のシース供試体を平面状におき、供試体の中央に直角に $\phi 9\text{mm}$ の丸鋼で、100kgf の荷重を短時間載荷する方法で行う。この載荷を -10°C 、 $+20^\circ\text{C}$ 、および $+15^\circ\text{C}$ で実施する。

FEP 管 $\phi 30$ 、50、65 について各 3 本行う。載荷後のシースは資料図-13 に示すように水セメント比 50% のセメントペーストを注入した後、30 分間放置し、グラウトの漏れを調べる。



資料図-12 局所的な外力に対するシース供試体



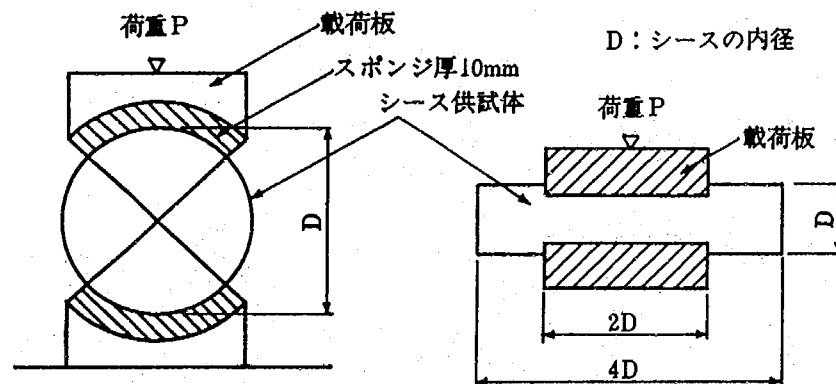
資料図-13 グラウトの漏れ試験

ii) 等圧外力に対する抵抗力試験

長さが内径 D (cm) の 4 倍のシース供試体に、資料図-14 に示す方法で、荷重 $P = \pi D^2$ (kgf) を 10 分間載荷する。温度は常温とする。

FEP 管 $\phi 30$ 、50、65 について各 3 本行う。

載荷後のシースは局所的な外力に対する抵抗力試験と同様に、資料図-14 に示すように水セメント比 50% のセメントペーストを注入した後、30 分間放置しグラウトの漏れを調べる。



資料図-14 等圧外力に対するシース供試体

—FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート
道路橋の設計・施工指針(案)—

共同研究報告書第99号
平成6年3月(1994)

要 旨 コンクリート構造物の塩害による劣化損傷を防ぐ方法の一つとして、鋼材の代わりに腐食を生じない材料を用いる方法が挙げられる。FRP(Fiber Reinforced Plastics)補強材は、鋼材の欠点である腐食を生じないことに加えて、従来の鋼材からなる緊張材と同等もしくはそれ以上の強度を有し、また軽量である等の特徴を有している。

本研究では、このようなFRP補強材の特徴に着目し、平成元年度から4年度にわたって建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の一環として、PC橋の緊張材としてこれを利用するための技術を開発しようとするものである。

本報告書は、PC橋の緊張材へ新素材を利用するための指針(案)をとりまとめたものである。

キーワード：指針、FRP、PC橋、緊張材、鋼材、腐食、塩害

建設省土木研究所
構造橋梁部 橋梁研究室
(株)大林組
オリエンタル建設(株)
五洋建設(株)
清水建設(株)
住友建設(株)
(株)竹中工務店
(株)竹中土木
日本鋼弦コンクリート(株)
(株)ビー・エス
三井建設(株)

郵便はがき

は50
円切
手
を
い
は
つ
て
下
さ

305-□□

建設省土木研究所

橋梁研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 25

No. 25

配布先氏名

配布先住所



土木研究所共同研究報告書第99号

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

土木研究所共同研究報告書第99号