

(57) 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

長崎大学 工学部 正会員 ○原田哲夫  
 鹿児島大学工学部 ミヨーキョウ  
 ショーボンド建設(株) 樋野勝巳  
 (株)富士ピー・エス 徳光 卓

1. はじめに

カーボン繊維、アラミド繊維などの連続繊維をプレストレストコンクリートの緊張材として用いる研究が盛んに行われているが、最も重要な点はその定着法にある。筆者らはこれまで、簡便で確実な定着方法として、定着用膨張材を用いる方法を開発し、それをアンボンド工法あるいは外ケーブル工法の定着法として適応することを目的に、定着部の長期特性、疲労特性等の基礎的事項について検討してきた〔1〕、〔2〕。

これまでの研究から、長期の緊張力の低下は極めて少なく、疲労特性にも優れていることから、実用化の可能性は十分高いものの、緊張材1本の場合の結果であって、実際の施工を考えた場合はマルチケーブル方式で、緊張能力の大きな定着体とする必要がある。そこでまず、膨張材充填用スリーブに鋼管を使用した緊張力60tfクラスの定着体の開発を目標とし、施工性の観点から膨張材充填方法および緊張定着システムを考案した。そして、緊張材にCFRPストランド(φ12.5)6本を用いて、ケーブルの配置形を変えた場合の引張試験を実施し、その安全性および実用性について検討した。

2. 定着システム

2.1 緊張・定着方法

図-1に示すように、定着用膨張材を用いて連続繊維緊張材を緊張・定着する実用的な方法は、2通り考えられる。(I)法では、緊張材を通し、その間に定着用膨張材を充填したスリーブ自体をカプラーでつないで緊張し、ナットで定着する方法である。この場合、スリーブの長さは、緊張材の伸びしろをあらかじめ考慮しておかなければならない。

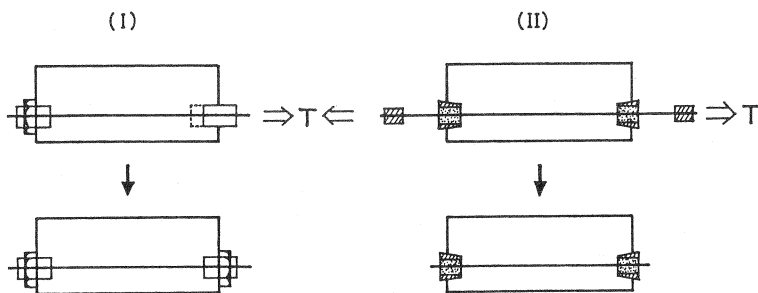


図-1 緊張・定着方法

(II)法ではこの点を改良して、よりコンパクトな定着部とするために考案したものである。まず、永久定着具となるスリーブを所定の位置にセットしておき、その間に緊張材を挿入する。その先端には緊張するための仮定着具(定着用膨張材を充填する方法以外の方法でもよい)をセットし、(I)法と同様に緊張して仮定着を行う。緊張した状態で永久定着具となるスリーブに定着用膨張材を充填し、所定の膨張圧が発現した段階で、仮定着具の緊張を解放して定着する方法である。この場合、緊張によって緊張材が細くなった状態で膨張圧が作用し、仮定着解放時の緊張材のポアソン効果に加わってより強固な定着となるため、定着具の長さがより短くてすみ、また長期の緊張力の低下も(I)法に比べてはるかに小さくなることが確かめられている〔2〕。なお、(I)法、(II)法とも、片引き、両引き、いずれでもよい。

## 2.2 ケーブル配置と定着具

定着用膨張材を用いた定着法で、現在考えられる実用的なケーブル配置と定着具を整理すると図-2のようになる。マルチケーブル方式Aとは、緊張材間隔をやや広くとったケーブル配置である。これは、外ケー

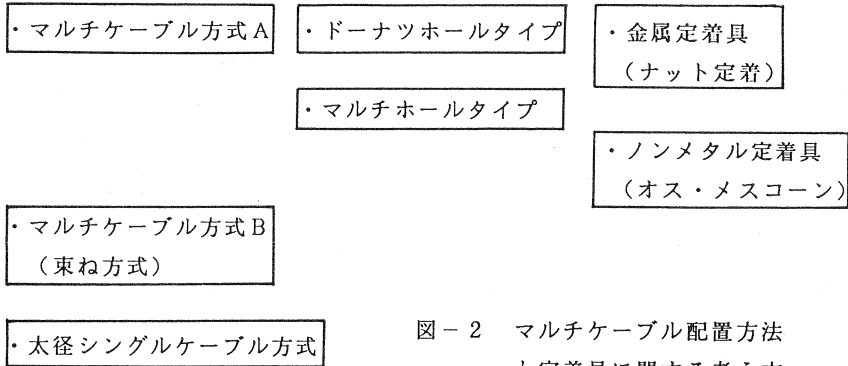


図-2 マルチケーブル配置方法と定着具に関する考え方

ルに適用した場合の曲げ上げ部での緊張材の保護を考慮したこと、現在は6本ケーブルを対象としているが、将来はさらに多数本の配置が可能となるなどを考慮したものである。この場合の定着具(定着用膨張材を充填するスリーブ)とそのケーブル配置には、ドーナツホールタイプとマルチホールタイプが考えられる。ドーナツ

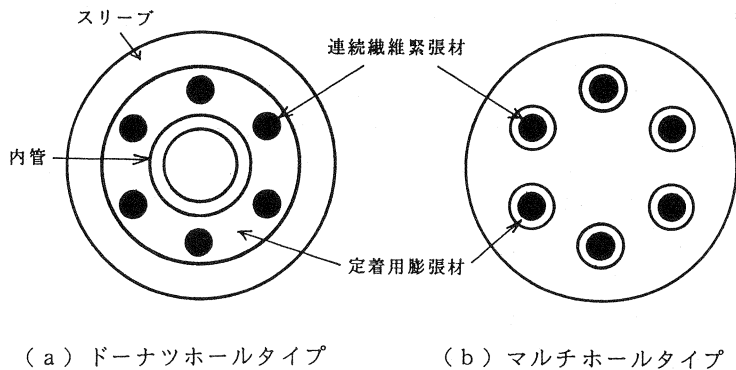


図-3 マルチケーブル方式

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、定着用膨張材を充填する形式である。マルチホールタイプは、図-3(b)のように多数本の緊張材とその数の膨張材充填用の孔を設ける形式である。定着具の材質には金属と非金属が考えられる。いまのところ、スリーブの加工性やナット定着が容易であるというメリットは大きく、金属定着具ということになるが、連続繊維の特性を十分活かすためには、最終的にはオール非金属の方向に進むべきと考える。現在、マルチホールタイプの非金属定着具の開発をすすめているところである。マルチケーブル方式B(束ね方式)は、図-4のようにケーブルを束ねて、よりコンパクトな定着体をめざすものである。

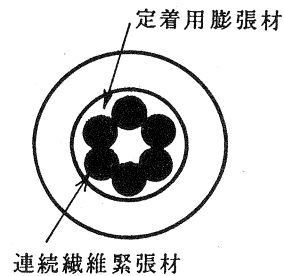


図-4 マルチケーブル方式B(束ね方式)

さらに、コンパクトさという観点からは、マルチケーブルの耐力に相当する太形シングルケーブルを使用する方向が考えられる。

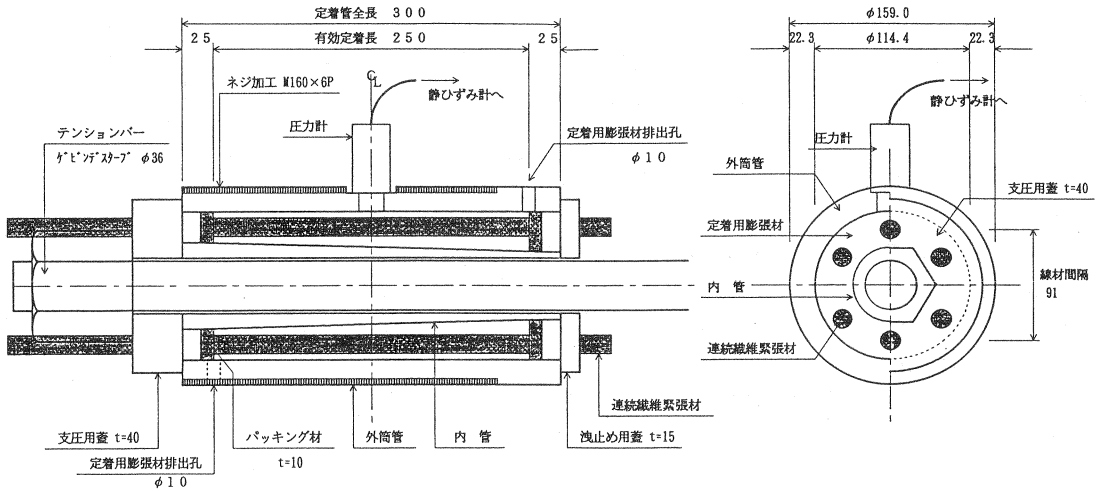


図-5 ドーナツホールタイプ定着具の概略図

今回実験に使用したスリーブは鋼管で、ドーナツホールタイプのマルチケーブル方式Aの概要を図-5に、マルチケーブル方式Bのスリーブ断面図を図-6に示す。図-6のように、緊張材中心間隔41mmで、今回は完全に束ねてはいない。マルチケーブル方式Bの有効定着長は、350mm、250mmの2種類とした。ちなみに、CFRPストランドがすべりだすための必要定着長は膨張圧500kgf/cm<sup>2</sup>の場合、200mm以上である[1]、[2]。以下、ドーナツホールタイプのマルチケーブル方式Aおよびマルチケーブル方式B(束ね方式)をそれぞれ、便宜的に「ドーナツホール供試体」「束ね供試体」と呼ぶことにする。

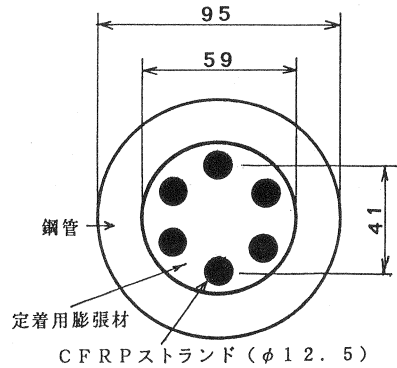


図-6 束ね供試体定着部の断面図

### 3. 定着用膨張材および充填作業性

#### 3.1 定着用膨張材

定着用膨張材とは、連続繊維緊張材を定着するために、従来の静的破砕剤をベースに、充填性、材料分離抵抗性の観点から開発されたもので、水-膨張材比25%~30%で練り混ぜ、鋼管のような拘束体に充填後48時間で500kgf/cm<sup>2</sup>以上の高膨張圧を発生する材料である。ドーナツホールタイプでは特に充填量が多いことおよび今回は使用時の気温が30℃と高いため、発熱していわゆる鉄砲現象を生じさせないよう改良されたマルチ用定着用膨張材(NBM-C10)を水-膨張材比27.5%で使用した。

#### 3.2 定着用膨張材の充填作業性

図-5のような、ドーナツホール供試体では、充填作業は、1m程度のヘッド圧をかけてスリーブを横に置いた状態で下方から注入する。上方の排出孔より余剰の膨張材スラリーが排出された時点で、内部に充填されたことを確認する。充填には内径φ10mmのビニールチューブを用いたが、この程度の径でも流動性はよく、容易に充填が行えた。充填作業中の問題は、端部における膨張材のシーリングである。支圧板内側に、厚さ10mmのネオプレンスポンジゴムパッキンを使用して、CFRPストランド表面の凹凸を塞ぎ、完全な漏れ止めが行えた。なお、実際の施工で、パッキンをつけた状態で緊張材を定着体内の所定の位置に

通し、セットする作業は、困難なものとなるため、あらかじめガイドパイプをセットしておき、緊張材をパイプ内に導き通した後にこれを引き抜く工夫も行った。東ね供試体では、スリーブ両端に金属製のスペーサをとりつけ、一方のスペーサ下面から1 m程度のヘッド圧をかけて充填し、他方のスペーサ上面から排出する方法で、ドーナツホール供試体の場合とほぼ同様である。

### 3.3 膨張圧

膨張圧の測定は図-5のように、スリーブ上面に取り付けたフラッシュダイヤフラム型の圧力計で測定した。東ね供試体の場合も同様である。

図-7には、膨張圧の経時変化と膨張材内部温度の関係の一例を示した。膨張材温度は80℃近くまで上昇しており、膨張圧も24時間で600 kgf/cm<sup>2</sup>に達している。しかしながら、現場における安全性確保の見地からは、もう少し温度上昇の低い定着用膨張材への改良が望ましい。

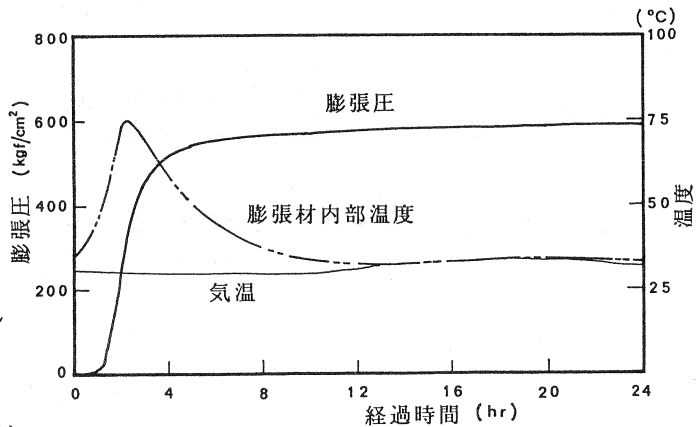


図-7 定着用膨張材(マルチ用)の膨張圧と温度の関係

## 4. 引張試験

### 4.1 実験概要

ドーナツホール供試体では、図-8のように一方の定着体中央部の内管にテンションバー(ゲビンデスターφ36)を通してナット定着し、センターホールジャッキで緊張した。東ね供試体では、定着体自体をカプラーでつなぎ、テンションバーで同様に緊張した。いずれも固定端はナット定着である。供試体は、4体で、ドーナツホール供試体をA-1、A-2、東ね供試体をB-1(スリーブ長350 mm)、B-2(スリーブ長250 mm)とする。初期の不整や反力板とのなじみをとるため、0.3~0.5 tf程度の初期緊張した状態で0セットを行った。B-1はCFRPストランドの破断まで、2 tf毎の漸増载荷で行った。残りの供試体については、1回目は20 tf、2回目は40 tf、3回目は60 tfまでの载荷、除荷を繰り返し、4回目は破断まで载荷した。

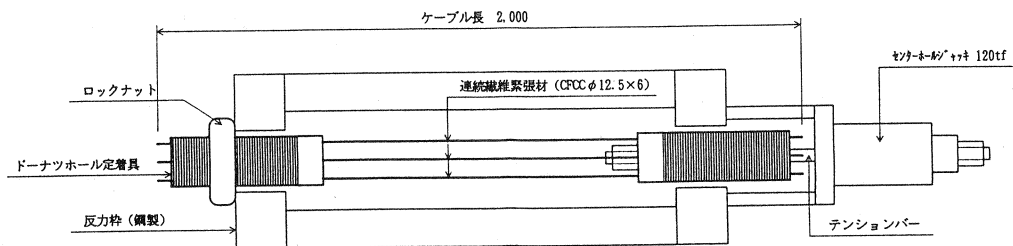


図-8 引張試験の概略図

### 4.2 実験結果および考察

破断荷重と引張試験時の膨張圧を表-1に一覧にして示す。いずれもマルチケーブルにした場合のCFRPストランドの保証破断荷重87 tf(14.5 tf\*6本)に対し、106%以上と100%を越える結果であった。筆者らの知る限りにおいては、マルチにした場合の保証破断荷重(1本の保証破断荷重の本数倍)を越えるような結果が得られる定着法は、現在のところ本定着法の他にないようである。他研究機関においても、本定着法の東ね方式(CFRPストランドφ12.5 6本マルチ)で、表-2のように112

%となる結果が報告されている[3]。なお、いずれも爆裂音とともに6本ほとんど同時に破断が起こっており、破断箇所の識別は難しいが、定着体口元部は座屈による破断面が観察され、CFRPストランド中央部分から破断したものであると推察される。

今回、実破断荷重(16.5tf\*6本=99tf)に対してはやや低めの値ではあるが、マルチにすることでの低減が小さく、高い破断荷重が得られた理由を次に考察してみる。

図-9、図-10には、それぞれA-2供試体、B-1供試体について、各ストランドのひずみから計算した荷重分担率(ひずみから計算された荷重/引張荷重)と引張荷重の関係を示した。ここで、ひずみゲージは、よりにそって1本のストランドに2枚、相対する面に貼付した。計算では、平均ひずみを用い、よりによる補正は行っていない。A-2供試体では、繰り返し载荷を行ったので、繰り返しによる包絡線に相当する部分をとって漸増载荷の状態とみなし、図-9に表した。これらの図から、各ストランドの張力がより均等になる方向に挙動している様子うかがえる。なお、図-11には、荷重分担率の和と引張荷重の関係を示した。荷重分担率の和は1よりわずかに大きくなっているが、引張荷重とほぼ平行になっており、荷重分担の割合に大きな誤差はないものと思われる。

通常、マルチの場合の難点は、初期の各緊張材長の誤差が吸収されない場合、それが各張力の不均一さとなって、負担の大きな緊張材から先に破断することであり、破断荷重の低下をもたらす。試験区間長が短い場合はなおさら顕著となる。しかしながら、定着用膨張材による定着の場合には、ある程度の緊張材長さのばらつきは吸収でき、6本の張力が、より均等化するものと考えられる。図-12は、CFRPストランド1本の場合の引張荷重と定着部口元変位の挙動の一例であるが、破断荷重の70%程度で1~2mm程度の抜け出しがあることがわかる。すなわち、緊張材長の初期不整は、緊張にともなう端部からの抜け出しによって吸収される得る可能性を示していると思われる。もちろん、この抜け出しは端部口元付近に限られ、定着体全体に影響を及ぼすものではない。このことは、例えば図-13で説明できる。図-13は、B-1供試体の鋼管スリーブ表面の軸方向ひずみと緊

表-1 破断荷重および膨張圧の一覧

供試体	破断荷重 (tf)	膨張圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		固定側	緊張側
A-1	95.7	420	521
A-2	93.4	648	610
B-1	92.3	635	643
B-2	92.6	520	460

表-2 破断荷重  
(文献3より引用)

供試体	破断荷重 (tf)
MB-1-1	91.8
MB-1-2	97.2
MB-1-3	97.1

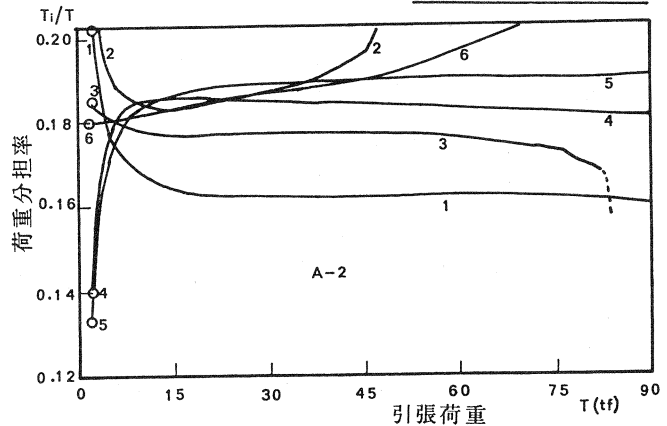


図-9 A-2供試体の荷重分担率と引張荷重の関係

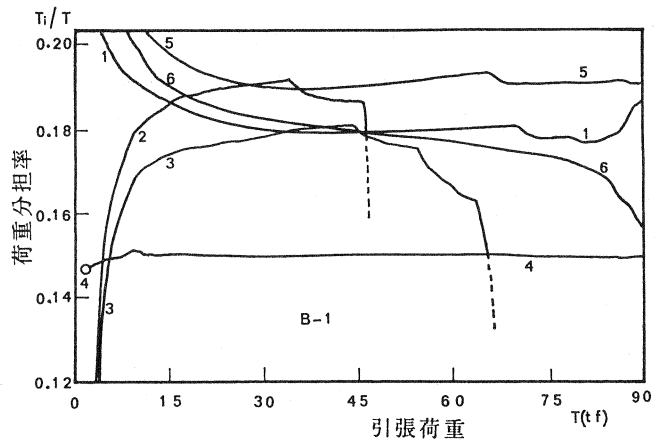


図-10 B-1供試体の荷重分担率と引張荷重の関係

図-13は、B-1供試体の鋼管スリーブ表面の軸方向ひずみと緊

張力の関係である。口元から7.5 cmの位置では、ひずみの増加がみられず、この時点でCFRPストランドと膨張材の界面またはスリーブと膨張材の界面ですべりが生じていると考えられるが、15 cmの位置では、破断間近でわずかにカーブして、すべりが生じはじめている程度であることがわかる。

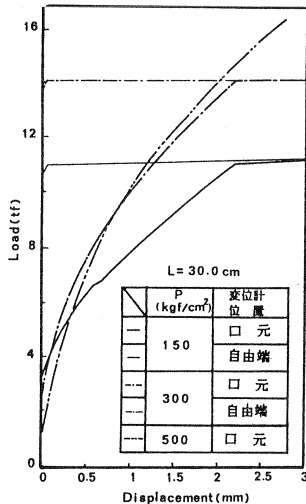


図-12 引張荷重と口元変位の関係

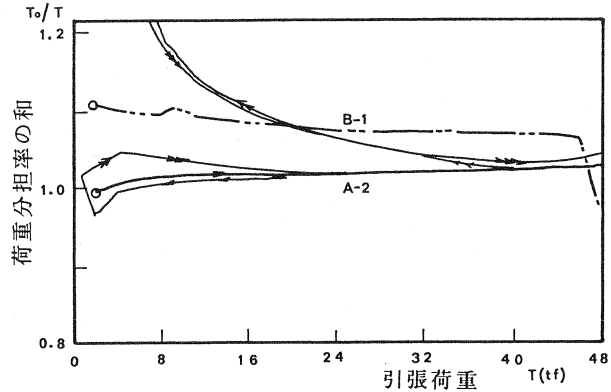


図-11 各緊張材の荷重分担率の和と引張荷重の関係

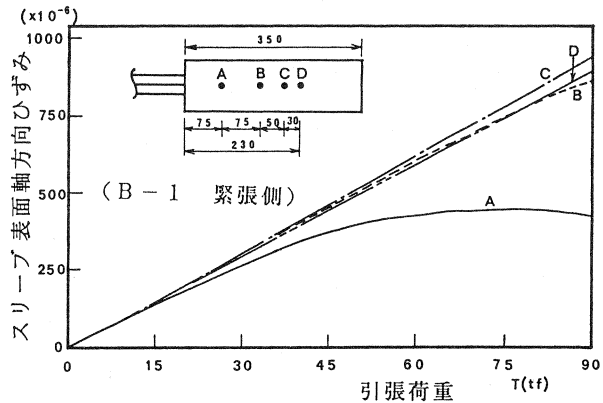


図-13 鋼管スリーブ表面のひずみと引張荷重の関係

### 5. まとめ

- (1) 連続繊維緊張材を定着用膨張材を用いて定着する場合、実用的なマルチケーブルの配置、膨張圧拘束用スリーブおよび緊張・定着方法について、その現状を整理し、将来の方向についても検討した。
- (2) 定着用膨張材の充填作業性は良好であり、実際の施工で問題になる膨張材スラリーのシーリングも完全に行えた。
- (3) 供試体数は少ないが、保証破断荷重に対して106%以上の破断荷重が得られた。
- (4) これは、定着用膨張材を用いたマルチ定着法の特徴と考えられ、初期に緊張材長さに違いがあっても、各緊張材の張力が均等化する方向に挙動するためと推察される。

謝辞：「膨張材による定着法研究会」からは、実験に際しての材料及び文献資料等の提供をはじめ、数々のご協力を賜りました。厚く御礼申し上げます。

### (参考文献)

- 1) 原田哲夫、出光 隆、渡辺 明、高山俊一：静的破砕剤を用いたFRP緊張材の定着法、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、pp251-256、1990. 10
- 2) 原田哲夫、出光 隆、ミョーキン、渡辺 明：CFRP緊張材の定着法とその長期および疲労特性、コンクリート工学年次論文報告集、13-2、pp759-764、1991. 6
- 3) (株) 銭高組 技術研究所：30℃用膨張材のアンカー定着具への利用、膨張材による定着法研究会資料、1992. 9