

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4012956号
(P4012956)

(45) 発行日 平成19年11月28日(2007.11.28)

(24) 登録日 平成19年9月21日(2007.9.21)

| (51) Int. Cl. | | | F I | | |
|---------------|------|-----------|------|------|---|
| E02D | 5/58 | (2006.01) | E02D | 5/58 | Z |
| E02D | 5/28 | (2006.01) | E02D | 5/28 | |
| E02D | 5/30 | (2006.01) | E02D | 5/30 | Z |

請求項の数 2 (全 15 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2002-8503 (P2002-8503) | (73) 特許権者 | 501267357 独立行政法人建築研究所 茨城県つくば市立原1番地3 |
| (22) 出願日 | 平成14年1月17日(2002.1.17) | (73) 特許権者 | 000176512 三谷セキサン株式会社 福井県福井市豊島1丁目3番1号 |
| (65) 公開番号 | 特開2003-213676 (P2003-213676A) | (74) 代理人 | 100059281 弁理士 鈴木 正次 |
| (43) 公開日 | 平成15年7月30日(2003.7.30) | (72) 発明者 | 田村 昌仁 茨城県つくば市立原1番地 独立行政法人 建築研究所内 |
| 審査請求日 | 平成17年1月17日(2005.1.17) | (72) 発明者 | 梅便川原 正徳 茨城県つくば市立原1番地 独立行政法人 建築研究所内 |
| 前置審査 | | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光ファイバを埋設した構造物の破損度合いを検証する方法において、

(1) 外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設した部材及び／又は模擬構造物で、破損段階の光ファイバの歪量を予め計測して、歪データを多数取得する。前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の製造時や施工時の衝撃や熱等に耐えて、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置で前記光ファイバを保護でき、かつ、前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置後に、「部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」のコンクリート部の破壊又は鋼材の破壊や破断時にその破壊又は破断位置で、前記光ファイバと共に切断される。

10

(2) 前記外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設して、実施構造物を構築する。

(3) 実施構造物で、外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測する。

(4) 実施構造物で、前記外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測して、先に得られている模擬構造物における歪データと比較して、実施構造物の破損度合いを検証する。

ことを特徴とした健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法。

【請求項2】

光ファイバを埋設した構造物の破損度合いを検証する方法において、

(1) 外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設した部材及び／又は模擬構造物で、破損

20

段階の光ファイバの歪量を予め計測して、歪データを多数取得する。前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の製造時や施工時の衝撃や熱等に耐えて、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置で前記光ファイバを保護できる。

(2) 前記外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設して、実施構造物を構築する。

(3) 実施構造物で、外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測する。

(4) 実施構造物で、前記外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測して、先に得られている模擬構造物における歪データと比較して、実施構造物の破損度合を検証する。

10

ことを特徴とした健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、この発明は、地震等の発生によって構造物に生じる歪及び破壊等を測定し、構造物の健全性を判定する健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

建造物（家屋、ビル、ダム、トンネル等）構築後における地震等の災害があった際に、その建造物の構造物（基礎杭、フーチング、柱、壁等）の健全性を検査する場合、従来、第1の方法によれば、検査対象の構造物が露出するまで、例えば基礎杭の場合、周辺地盤を掘削するなどして、目視により検査する方法が知られていた。

20

【0003】

また第2の方法によれば、構造物にハンマー等による衝撃を与えて、弾性波を検知してその波形により杭の損傷を検査する方法があった。

【0004】

その他として、構造物外周の間隙や構造物内部を掘削して得た孔に、ボアホールカメラを挿入して、その映像により構造物の損傷を検査する方法もあった。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

前記従来の技術では、目視により検査する方法及びボアホールカメラにより検査する方法では、検査対象の構造物を露出させる（例えば掘削する等）ための多大な時間、労力、費用を要し、また現状復帰の作業が煩雑となるなどの問題点があった。また、ハンマー等による衝撃を与えて、弾性波を検知する方法ではノイズ処理等難しい場合には信頼性に欠ける問題点があった。

【0006】

取り分け、いずれの方法によっても数十メートルの深さの基礎杭等の長尺構造物の場合には、事实上適用が困難であった。

40

【0007】

また、杭に光ファイバを取り付けて、荷重が加わった際に杭の軸方向に生じる歪を計測する方法が知られている。

【0008】

例えば、特開平9-291533号記載の発明によれば、光ファイバを取り付けた杭を地盤に埋設して、地震等によって杭が破損した場合にその破損箇所を調査できるとしているが、光ファイバに所定強度がなければ杭の製造時や施工時の熱や衝撃で、杭自体に損傷はないのに光ファイバが切断してしまうことがある。こうなると、検査した際に杭が破損していると判定されて、実際は損傷のない杭なのに取換えの必要性が生じ、多大な労力と費用を要する。

【0009】

50

また、逆に地震等によって杭が破損した際に、コンクリート部、鋼材等のそれぞれの強度に応じた光ファイバを用いなければ、どの部分が破損に陥ったのか判断できない問題があった。

【0010】

【課題を解決するための手段】

然るにこの発明では、光ファイバの外周を構造物の破損度合を計測するために最適の条件で構成した被覆材で覆ってなる被覆光ファイバを構造物に埋設して検証するので、前記問題点を解決した。

【0011】

即ち、この検証方法の発明は、光ファイバを埋設した構造物の破損度合いを検証する方法において、

(1) 外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設した部材及び／又は模擬構造物で、破損段階の光ファイバの歪量を予め計測して、歪データを多数取得する。前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の製造時や施工時の衝撃や熱等に耐えて、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置で前記光ファイバを保護でき、かつ、前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置後に、「部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」のコンクリート部の破壊又は鋼材の破壊や破断時にその破壊又は破断位置で、前記光ファイバと共に切断される。

(2) 前記外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設して、実施構造物を構築する。

(3) 実施構造物で、外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測する。

(4) 実施構造物で、前記外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測して、先に得られている模擬構造物における歪データと比較して、実施構造物の破損度合を検証する。

ことを特徴とした健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法である。

【0012】

また、他の検証方法の発明は、光ファイバを埋設した構造物の破損度合いを検証する方法において、

(1) 外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設した部材及び／又は模擬構造物で、破損段階の光ファイバの歪量を予め計測して、歪データを多数取得する。前記被覆材は、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の製造時や施工時の衝撃や熱等に耐えて、「前記部材及び／又は模擬構造物及び／又は構造物」の設置で前記光ファイバを保護できる。

(2) 前記外周面を被覆材で覆った光ファイバを埋設して、実施構造物を構築する。

(3) 実施構造物で、外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測する。

(4) 実施構造物で、前記外周面を被覆材で覆った光ファイバの歪量を、FBG又はOTDRにより計測して、先に得られている模擬構造物における歪データと比較して、実施構造物の破損度合を検証する。

ことを特徴とした健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物の検証方法である。

【0013】

本発明でいう健全性評価用の光ファイバを埋設した構造物とは、家屋、ビル、ダム、トンネル等の基礎杭、フーチング、柱、壁などのコンクリート又は及び鋼材からなるものをいう。一般に、ひび割れや破断が問題となる構造物で、ひび割れや破断が目視できないような構造物であれば、上記例に限らず、適用することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】

(1) 光ファイバの外周面を被覆材で覆って、被覆光ファイバを構成する。被覆材は、光ファイバを埋設して健全性を検査する対象の構造物を製造する際に、埋設するので、製造時や施工時の衝撃や熱等に耐えて、その光ファイバを保護できるような材質、形状を選

択しなければならない。なおかつ、被覆材は、埋設する構造物が、コンクリート部や鋼材で、破壊や破断が生じた際に、その破壊又は破断位置で、光ファイバと共に切断されるように、事前の評価データを基にした最適な材質、構造を選択して、最適な条件を設定する。

【0015】

(2) 構造物として、遠心成形や高温養生が必要とされる過酷な条件で製造される既製杭に適用した例を説明する。既製杭の製造時に光ファイバが破壊されないような被覆材を選択する。

【0016】

(3) U字状にPC鋼棒に沿って埋設した被覆光ファイバ10の一端11を既製杭14の一端部14aに埋設し、他端12を既製杭14の一端部14aから突出させ、測定装置25に連結する(図2(a)(b))。OTDR法によって、被覆光ファイバ10の一端12から入射した光の損失を測定することにより、破断の有無(健全性)、破断している場合にはその破断位置(入射側から距離L₁)を推定できる。

【0017】

(4) この際、同じ被覆光ファイバ10を同様に埋設した既製杭14を使用して、破断が生じた場合の光の損失データを予め、数多く測定しておくことが必要である。この事前データとを比較することにより、より正確な破断位置、破断状況を把握できる。

【0018】

(5) 例えば、部材(PC鋼棒等)に光ファイバを取り付けて、試験機によって、荷重を加え、これを歪ませたり、光ファイバが埋設された模型構造物にひび割れを生じさせ、そのときの光ファイバに入射した際の光損失量によって、光ファイバの歪量を計測する。ひび割れの大きさの度合毎の歪量を多数取得して、コンピュータ等によってデータベースを作成する。

【0019】

このようにして、データベース化することによって、光ファイバが埋設された実際の構造物に地震等によって損傷を受けた際に、埋設された光ファイバに入射した光の損失量を作成されたデータベースと照合することで構造物の損傷状態を把握できる。

【0020】

【実施例1】

図面に基づきこの発明の実施例を説明する。

【0021】

[1] 被覆光ファイバ10の構成

【0022】

(1) 光ファイバ(光ファイバ心線)1は、通常屈折率が周辺より大きなコア部4とコア部4の周囲に屈折率をコア部より小さくしたグラッド部5とから形成され、光はコア部4中を伝搬される。光ファイバ1のグラッド部5の外周面を被覆材6で覆い、この発明の実施に使用する被覆光ファイバ1を構成する(図4(a))。

【0023】

(2) 被覆材6としては、各種樹脂材料(UV硬化性樹脂、ナイロン樹脂等)、繊維材料(ポリアラミド繊維等)、ゴム類、その他のプラスチック類等を採用することもできる。

【0024】

また、形態も外面をコーティングする場合の外、管体とすることもできる。例えば、金属管(ステンレス、アルミニウム等)、ビニル管(塩化ビニル等)を使用することもできる。また、管体を使用する場合には、被覆管材(例えば、ビニル管)7を密着して被覆光ファイバ10を構成し(図4(c))、あるいは、被覆管材(例えば、ステンレス管)を光ファイバ1と所定間隙8を設けて、被覆光ファイバ10を構成することもできる(図4(d))。

【0025】

10

20

30

40

50

また、被覆材は、単独に限らず、複数のものを積層して構成することもできる（図示していない）。

【0026】

また、1本の光ファイバ1毎に被覆材を施す場合に、限らず、複数本の光ファイバ1、1を束ねた状態で、被覆材を施し、被覆光ファイバを構成することもできる（図4（b））。

【0027】

(3) 前記において、いかなる被覆材（材質、厚さ）を採用するかは、適用する構造物に応じて最適な条件を決定する。

【0028】

即ち、構造物の製造時に被覆光ファイバ10を埋設する場合には、製造時に生じる外力や温度条件に耐えて、光ファイバ1が破損しないように保護する。また、構造物の設置までに構造物を搬送などする場合には、加わる外力や温度条件に耐えて、光ファイバ1が破損しないように保護する。更には設置後に構造物に生じる外力などに応じて、計測したい破損条件に応じて、構造物に破損が生じた位置で、被覆光ファイバ10において、被覆材6と光ファイバ1とが共に切断されることが条件となる。

【0029】

また、被覆光ファイバ10を基礎杭の破損に耐え得る構造とした場合、予め曲げ試験等で基礎杭のコンクリート部、鋼材、軸筋の歪み、ひび割れ、引張、破壊時の光ファイバ1の歪量を計測してデータを取得しておき、実際、地盤に設置された光ファイバを有する基礎杭の破損度合（例えばひび割れ幅等）を検証することができる。

【0030】

また、被覆光ファイバ10を基礎杭の破損と同時に、その破損位置で切断する構造とした場合、基礎杭のコンクリート部の破壊、鋼材の破壊及び軸筋の破断、それぞれの位置、幅等を計測することができる。

【0031】

また、光ファイバ1としては、プラスチックファイバ、多成分ファイバ、石英ファイバ等があり、例えば既製杭を養生する際の温度（例えば80℃）に耐え得るものを使用する。

【0032】

[2] 既製杭14の構成

【0033】

以下に、既製杭14（PHC杭、PRC杭等）の製造に基づいた健全性評価用の被覆光ファイバ（ここでは既製杭14の破損と同時に光ファイバ1も切断するもの）を埋設した基礎杭の形成方法を説明する。尚、ここでは既製杭14について説明するが、当然に現場造成杭においても適用が可能である。

【0034】

既製杭14の製造時や施工時の熱や衝撃によって光ファイバ1が切断せず、かつ既製杭14のコンクリート破壊又は鋼材の破壊、あるいは軸筋（例えばPC鋼棒）の破断がおきた時には被覆光ファイバ10（光ファイバ1）も切断するような被覆材6によって光ファイバ1の外周面が覆われている。

【0035】

この実施例では、

<光ファイバ>

| | | | |
|-------|----------|----|--------------------|
| コア部 | 石英ガラス製 | 径 | 50.0 μm |
| クラッド部 | プラスチック製 | 厚さ | 37.5 μm |
| 被覆材 | UV硬化性樹脂製 | 厚さ | 62.5 μm |

<既製杭の規格>

| | |
|----|-------|
| 外径 | 700mm |
| 内径 | 570mm |

10

20

30

40

50

肉厚 65 mm
 杭長 8 m
 P H C 杭 A 種
 (P C 鋼棒径 7.1 mm × 10 本)
 (有効プレストレス 3.92 N / mm²)

このようにして形成された健全性評価用の被覆光ファイバ 10、10 を、既製杭 14 の骨組となる鉄筋籠の軸筋である P C 鋼棒に沿って接着剤で貼付、あるいはクリップ等によって係止めする (図示していない)。

【0036】

次に、被覆光ファイバ 10 を取り付けた鉄筋籠を、既製杭成型用の型枠内にセットし、コンクリートを注入して緊張機によって P C 鋼棒を引張し、プレストレスを導入する。このプレストレス導入の際に被覆光ファイバ 10 が伸び切らないように、予め緊張量に応じて被覆光ファイバ 10、10 を若干弛ませて P C 鋼棒に取り付けておく。このように処理することによって、プレストレス導入後、被覆光ファイバ 10 は P C 鋼棒に沿ってほぼ直線上に配置される。尚、上記のプレストレス量、P C 鋼棒の条件で、例えば約 1 ~ 5 cm 程度の伸びがある。

【0037】

尚、前記におけるコンクリートの投入は、プレストレス導入後に型枠中空部内にポンプを差込み、そのポンプからコンクリートを投入する工程でもよい。

【0038】

こうしてプレストレスが導入されコンクリートが充填された型枠を、遠心成形機によって遠心成形を行い、所定期間養生 (例えば、常圧で、80℃ の蒸気環境下で、7 日間) する。

【0039】

養生完了後、脱型すれば、健全性評価用の被覆光ファイバを埋設した既製杭が完成する。

【0040】

前記において、埋設する被覆光ファイバの端部処理は、使用する測定形式に応じてなされる。即ち、一端 11 を閉じた状態で既製杭 14 の肉厚内に埋設して、他端 12 を既製杭 14 の端板 15 から外方に突出させる場合 (図 5 (a))、あるいは、両端 11、12 を既製杭 14 の端板 15 から突出させ、折り返し部 13 を既製杭 14 内に埋設する場合とがある (図 5 (b))。

【0041】

【3】他の実施例

【0042】

(1) 前記実施例において、被覆光ファイバ 10 を P C 鋼棒に沿わせて貼付したが、既製杭 14 の上下端面 15 に光ファイバの両端をそれぞれ端面に設けられた光ファイバ挿通孔に取り付け、P C 鋼棒に沿わないように単独で配置することも可能である (図示していない)。

【0043】

(2) また、前記実施例において、骨組となる鉄筋籠を有する既製杭では、軸鉄筋に接着剤で貼付、あるいはクリップ等によって係止めしたが、骨組のない鋼管杭や S C 杭 (外殻鋼管巻きコンクリート杭) の場合には、鋼管内面又は外面に貼着することにより、既製杭内の所定位置に保持する (図示していない)。

【0044】

(3) また、前記実施例において、被覆光ファイバ 10 は、既製杭 14 の全長に亘って取り付けたが、例えば、地震時に最も応力が集中して破壊される可能性が高い杭頭上部から数メートルの位置まで、設けることもできる (図示していない)。あるいは、測定目的に応じて、部分的に設けてもよい。

【0045】

(4) また、前記実施例において、単杭の場合について説明したが、健全性評価用の被覆光ファイバ10を埋設した既製杭14、14同士を連結して使用することもできる。この場合には、杭端板15、15に光ファイバ1を接合する為の各種カプラーを取付け、埋設した被覆光ファイバ10の端部をカプラーに連結する(図示していない)。従って、このような既製杭同士の接合は、端板15、15を使用して、力学的に十分な構造で接合すると共に、端板15、15のカプラー同士を接合して、光ファイバ1、1を直通接合する。

【0046】

また、一般に、地盤上層に比較的大きく曲げモーメントが作用するため連結杭の上部でひび割れ、破壊等が起こり易いことから、上部杭は、被覆光ファイバ10を埋設した既製杭を用い、下部杭は従来より使用している既製杭(被覆光ファイバ10を埋設していない)を連結して使用してもよい。即ち、連結杭の長さ方向で、健全性評価用の被覆光ファイバを埋設した既製杭の配置を自由に設定できる。

【0047】

(5) また、前記実施例において、被覆光ファイバ10は、光ファイバ1の外周面に被覆材6を密着させたが、所定間隙8を空けて被覆材(管材)7被覆することもできる(図4(d))。この場合には、構造物の製造時の外力の影響を受け難いが、切断時に、構造物が破断等され被覆材が破断した場合に、同じ位置で被覆光ファイバ(光ファイバ1)も破断されることが必要である。

【0048】

(6) また、前記実施例では、既製杭14に健全性評価用の被覆光ファイバ10を埋設した構造について説明したが、同様に被覆光ファイバ10、10をワーキング17に埋設し(図6(a))、柱20に埋設し(図6(b))、あるいは壁などにも埋設することもできる(図示していない)。

【0049】

(7) また、被覆光ファイバ10を埋設する際には、光の屈曲を防止するため、光ファイバ1をできるだけ直線状に設置することが望ましい。例えばトンネル22の壁23内に被覆光ファイバ10を埋設する場合には、アーチ状ではなくトンネル開放方向(長さ方向)に直線状に設置することが望ましい(図7)。ただし、光の屈曲による光損失量を予め計測してある場合にはこの限りではない。

【0050】

【実験例1】

(1) 健全性評価用の被覆光ファイバ10が埋設された既製杭14をFBG(Fiber Bragg Grating)及びOTDR(Optical Time Domain Reflectometer)による測定方法によって、既製杭14を製造した後の状態及び杭曲げ試験を実施した際の状態を計測した。

【0051】

FBGは、光ファイバ1のコア部4の一部分で屈折率を変化させて、光の干渉が起こるようにしたものである。その屈折率の変化する部分を等間隔の格子状領域とすると、入射した光の内、特定の波長成分のみ反射させることができる。反射される波長はコアの屈折率と格子間隔に依存するので、その反射される波長成分を検出することにより歪を検知するセンサとして利用することができる。

【0052】

OTDRは、光ファイバ1の片端から計測用のパルス光を入射し、その散乱光の受信までの時間と周波数分布を解析し、光ファイバ1に生じている長さ方向の歪、及びその場所を高精度に計測する技術である。この内、BOTDR(Brillouin Optical Time Domain Reflectometer)によれば、光ファイバ中で起こる散乱光の内、ブリルアン散乱光は、歪に応じてその散乱光周波数が変化するため、その歪特性を利用することにより、光ファイバの歪分布及びその位置を求めることが可能である。

【0053】

従って、光ファイバ1を被覆光ファイバ10として構造物と一体化することにより、光ファイバ1の歪から構造物の歪及びその位置を連続的に推定することが可能となる。

【0054】

(2) まず、光ファイバ1が既製杭14の製造時の衝撃、養生時の熱に耐え得るか、杭製造後に光ファイバ1の切断状態を検査した。

【0055】

<使用する既製杭14>

- ・外径700mm、
- ・肉厚65mm、
- ・杭長8m
- ・PFC杭A種
(PC鋼棒径7.1mm×10本)
(有効プレストレス3.92N/mm²)

とした。

【0056】

下記に示す5種類の健全性評価用の被覆光ファイバ10を、PC鋼棒に沿ってCN接着剤(シリノアクリレート接着剤)で貼付した鉄筋籠にコンクリートを投入し、PC鋼棒を緊張して35Gで遠心成形を行い、常圧蒸気養生(80℃、4時間保持)後に、被覆光ファイバ10(光ファイバ1)の状態を検査した。

【0057】

<試験体：被覆光ファイバ10>

○ TYPE 1

光ファイバ1を軟質塩化ビニル製の被覆材6で被覆し、さらにステンレス管(被覆管)7で防護して被覆光ファイバ10とする(図11(a))。

○ TYPE 2

光ファイバ1をUV硬化性樹脂製の被覆材6で被覆して被覆光ファイバ10とする(図11(b))。

○ TYPE 3

光ファイバ1をナイロン製の被覆材6で被覆して被覆光ファイバ10とする(図11(c))。

○ TYPE 4

光ファイバ1をポリアラミド繊維製の被覆材6で被覆し、さらに軟質塩化ビニル製の被覆材9で被覆して、被覆光ファイバ10とする(図11(c))。

○ TYPE 5

UV硬化性樹脂製の被覆材6で被覆された光ファイバ1を、4本並べてさらにUV硬化性樹脂製の被覆材9被覆し一体化して被覆光ファイバ10とする(図11(d))。

【0058】

【表1】

表-1 杭製造後の光ファイバの切断状況

| 光ファイバの種類 | 埋め込んだ本数 | 切断しなかった本数 | 比率 | 備考 |
|----------|---------|-----------|------|----------|
| TYPE 1 | 2 | 2 | 1 | |
| TYPE 2 | 4 | 0 | 0 | |
| TYPE 3 | 4 | 3 | 0.75 | |
| TYPE 4 | 4 | 4 | 1 | |
| TYPE 5 | 4 | 2 | 0.5 | 4心中3心が切断 |

10

【0059】

表-1に示すように、この結果から、TYPE 1、TYPE 3、TYPE 4の被覆光ファイバ10のように適切な被覆あるいは防護を施せば、光ファイバ1は遠心成形時の衝撃や常圧蒸気養生下での高温にも切断が極力抑えられることが判明した。

【0060】

(3) 次に、健全性評価用の被覆光ファイバ10を埋設した既製杭14の曲げ試験を実施した結果を示す。

20

【0061】

先ず、曲げ試験時の既製杭14の歪状態をFBGによる計測方法と他の計測方法との結果を比較した。

【0062】

試験に用いる光ファイバ1は、光ファイバ1の心線(コア部4、グラッド部5)の一部にFBG加工を5mmにわたり施し、ポリイミド樹脂製の被覆材6で被覆し、さらにUV樹脂製の被覆材9で被覆し、その外面をステンレス管(被覆管)7で防護して、被覆光ファイバ10を構成する(図10(b))。

【0063】

このようにして形成された健全性評価用の被覆光ファイバ10、10を外径400mm、肉厚6.5mm、杭長8mのPHC杭A種(PC鋼棒7.1mm×10本、有効プレストレス 3.92 N/mm^2)の上下対象のPC鋼棒に計2本、CN接着剤で貼付する。

30

【0064】

この被覆光ファイバ10を埋設した既製杭14を、
 支点間距離 $L=7\text{ m}$ 、
 中央載荷曲げスパン 1 m

で、曲げ試験を行った(図10(a))。曲げ試験に際しては既製杭14内に埋め込んだFBGで計測した歪と比較するため、載荷スパン内700mm間の圧縮側、引張側変位を、また杭体の圧縮側、引張側コンクリートに貼付した箱ゲージ、PC鋼棒に貼付した箱ゲージにより歪を計測した。

40

【0065】

曲げ試験を行った結果、
 荷重 $P=70.7\text{ kN}\cdot\text{m}$ でひび割れが発生し、
 荷重 $P=102.9\text{ kN}\cdot\text{m}$ でPC鋼棒が破断した。図8に、曲げモーメント-中央たわみ曲線を示す。

【0066】

また、図9に、曲げモーメントと各種歪計測方法によるPC鋼棒位置での圧縮側及び引張側の歪の関係を示す。図中、PC鋼棒ゲージはPC鋼棒に貼付した箱ゲージで計測した歪、区間変位は載荷スパン内700mm間の変形量から算出した平均歪、コンクリートゲージは既製杭14のコンクリートの圧縮側及び引張側に貼付した箱ゲージから算出したP

50

C鋼棒位置での歪である。

【0067】

(4) 図9のグラフから、FBGとその他の計測法による歪の値は整合性が良いこと、またFBGは、杭体のひび割れ発生後破壊に至るまで損傷を受けないことなど、その他の計測法と比較して特に支障のないことが判明した。

【0068】

(5) また、上記と同様にBOTDRによる計測方法でも、他の計測法との差異はあまりみられず、光ファイバは杭体のひび割れ発生後破壊に至るまで損傷を受けないことが判明した(図1)。

【0069】

(6) 更に、OTDRで計測した光損失より既製杭14の破壊(この場合、PC鋼棒の破断)に伴って被覆光ファイバ10(光ファイバ1)が切断した位置を把握できることが分かった。21.5mの被覆光ファイバ10を用い、測定装置25から既製杭14の端部14aまで5m、上下対称となるPC鋼棒に16、5mの被覆光ファイバ10をU字状に取り付けて、OTDRによって既製杭14の破壊位置の計測を行った(図2(a)(b))。破断したPC鋼棒をスケールによって計測したところ、実測値が入射側から距離L₁(L₁=4.12m)(杭長L=8m)であったのに対し、OTDRによる計測結果は、測定装置25から9.10m位置の被覆光ファイバ10(光ファイバ1)の切断が確認できた。これを既製杭14の位置でいうと、入射側から4.10mであった。

【0070】

このことから、OTDRで計測した光損失より杭の破壊(この場合、PC鋼棒の破断)に伴って光ファイバが切断した位置を把握し、杭の破壊位置を高精度で計測できることが判明した。

【0071】

(7) また、既製杭の破壊範囲の計測については、被覆光ファイバ10をU字状に取り付け、光ファイバ1の両端部2、3(被覆光ファイバ10の両端部11、12)から光パルスを入射し、それぞれの光ファイバ1の切断位置(既製杭14の端部14aから距離L₂)を把握することによって、既製杭の14の破壊範囲を特定することができる(図3)。

【0072】

【実施例3】

基礎杭のコンクリート部、鋼材、軸筋の各部の破損状態を検証できるように光ファイバ心線の外周面を実施例1に記載した被覆材で被覆された光ファイバを用いる。

【0073】

例えば、光ファイバ1(外径0.05mm)の外周面をゴム材(厚さ0.55mm)からなる被覆材6で覆い、さらにプラスチック管(厚さ0.825mm)からなる被覆管7で積層した健全性評価用の被覆光ファイバ(外径2.8mm)10を用いる。

【0074】

(1) コンクリート部にひび割れ(例えば0.2mm)が生じた際の光ファイバの歪量を予め曲げ試験で計測して歪データを取得しておく。

【0075】

実際、地盤中に設置された光ファイバを有する基礎杭に地震等が生じた後に、その基礎杭14の破損状態を検証する際に、該基礎杭の光ファイバの歪量を計測したところ、先に得られた前記0.2mmのコンクリート部のひび割れ時の歪データと同一であれば、地盤中に設置された基礎杭のコンクリート部に0.2mmのひび割れが生じていたことが判断できる。

【0076】

(2) 即ち、基礎杭のひび割れ、破壊等の破損状況に応じた基礎杭内の外周部に、被覆光ファイバを予め埋設しておく。この光ファイバの歪量の歪データを予め多数取得しておく、地震等が生じて地盤に設置されている被覆光ファイバを有する基礎杭の検証をする際

10

20

30

40

50

に、設置されている基礎杭の光ファイバの歪量と前記歪データを比較することによって、基礎杭の破損度合を判断することができる。

【0077】

比較した結果、基礎杭の支持力上、問題ない程度の歪量（有害なコンクリート部のひび割れが生じていない等）と判断できれば、当該基礎杭は健全であると判断することができる。

【0078】

さらに、前述したOTDRによる計測方法を用いれば、該当する破損位置の検証も可能である。

【0079】

(3) ここでは、基礎杭に健全性評価用光ファイバを埋設して破損状態を検証したが、実施例1と同様に、フーチング、柱、壁などに該光ファイバを埋設して、それぞれの構造物のコンクリート部や鋼材部の歪データを多数取得しておき、地震等発生後、構築された構造物の歪量と先に得られている歪データを比較して、構造物の破損度合や破損位置を検証することもできる。

【0080】

【発明の効果】

この発明は、光ファイバの周面を、製造時や施工時の衝撃や熱等に耐え得る被覆材で防護して被覆光ファイバを構成し、被覆光ファイバを構造物に埋設することによって、構造物を製作するまで、光ファイバに損傷を招くことがなく、構造物製作後に、その構造物が地震等によって損傷を与えられた場合、埋設した被覆光ファイバを使用すれば、その損傷を検査することができる効果がある。

【0081】

また、被覆材で防護された被覆光ファイバを構造物に埋設した際に、その被覆光ファイバの強度を、構造物のコンクリート部の破壊又は鋼材の破壊や破断時にその破壊又は破断位置で、前記光ファイバと共に切断される程度の強度とすることにより、構造物の破損位置、破損範囲等を検査できる効果がある。

【0082】

外周面を被覆材で覆われた被覆光ファイバが埋設された構造物では、破損段階に応じた光ファイバの歪量を予め計測して、歪データを多数取得しておき、地震等が生じた場合に、構築されている構造物の健全性を検証をする際に、構築されている構造物の埋設されている光ファイバの歪量と、先に得られている歪データを比較することによって、その構造物の健全性や破損度合を検証することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例のOTDRによる測定図で、光ファイバ長-光損失 グラフである。

【図2】(a)はこの発明の実施例の計測状態を説明する図で、(b)は(a)のA-A断面図である。

【図3】同じく計測状態を説明する図である。

【図4】(a)～(d)はこの発明の実施に使用する被覆光ファイバーの断面図である。

【図5】(a)(b)は、構造物としてコンクリート杭に適用した場合の実施例で、被覆光ファイバの配置を説明する図である。

【図6】(a)は構造物として基礎フーチングに適用した実施例、(b)は柱に適用した実施例の被覆光ファイバの配置を説明する図である。

【図7】同じく構造物として、トンネル状の構造物に適用した実施例の光ファイバの配置を説明する図である。

【図8】この発明の実施例で、曲げモーメント-中央たわみ曲線 を表すグラフである。

【図9】同じく各種歪計測方法によるPC鋼棒位置での歪の関係 を表すグラフである。

【図10】(a)は同じく曲げ試験を説明する図で、(b)は使用した被覆光ファイバの

10

20

30

40

50

断面図である。

【図11】 (a) ~ (e) は同じく実験例で、既製杭製造時の被覆光ファイバ試験体の断面図である。

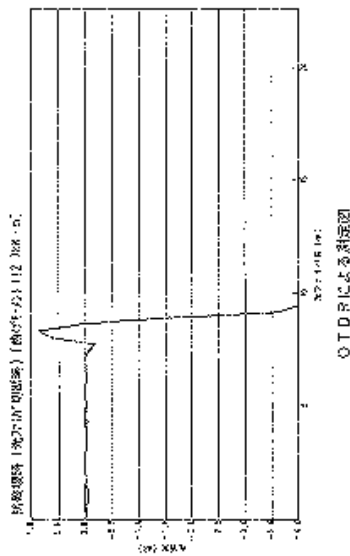
【符号の説明】

- 1 光ファイバ
- 2 光ファイバの一端
- 3 光ファイバの他端
- 4 光ファイバのコア部
- 5 光ファイバのグラッド部
- 6 被覆材
- 7 被覆管材
- 8 間隙
- 9 被覆材
- 10 被覆光ファイバ
- 11 被覆光ファイバの一端
- 12 被覆光ファイバの他端
- 13 被覆光ファイバの折り返し部
- 14 既製杭 (構造体)
- 15 既製杭の端板
- 17 フーチング
- 18 基礎杭 (構造体)
- 20 柱 (構造体)
- 22 トンネル (構造体)
- 23 トンネルの壁
- 25 測定装置

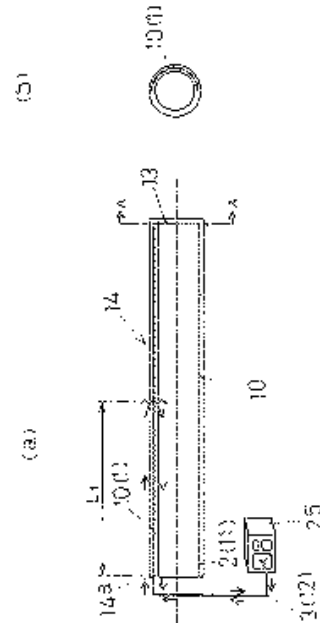
10

20

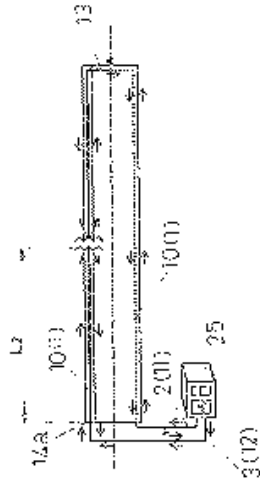
【図1】



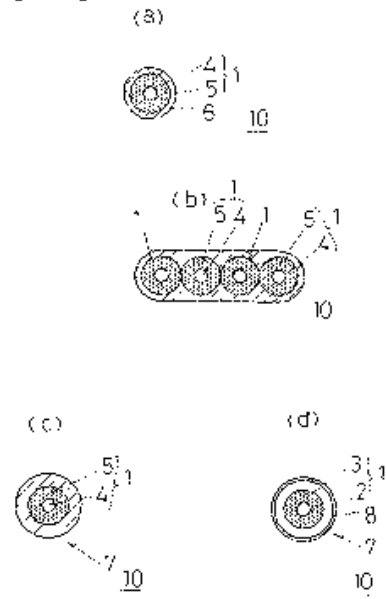
【図2】



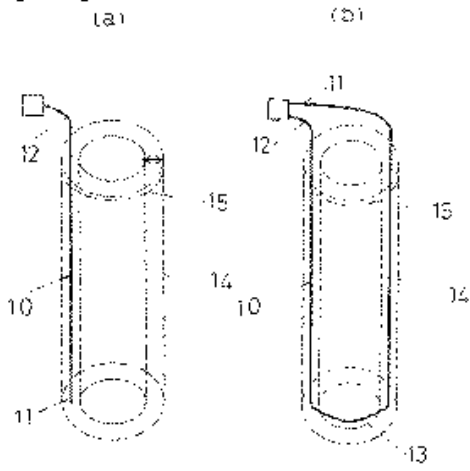
【図3】



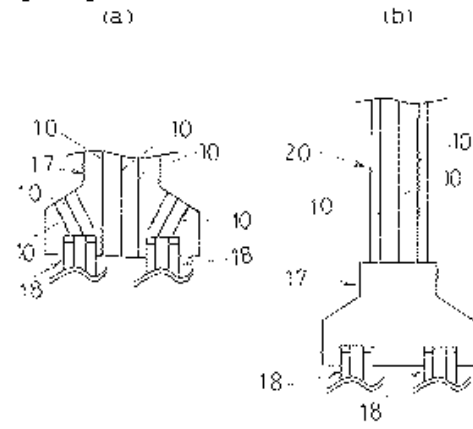
【図4】



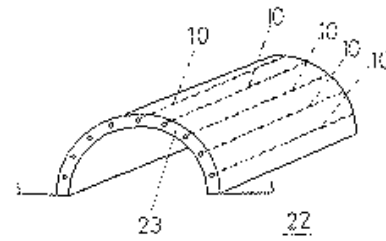
【図5】



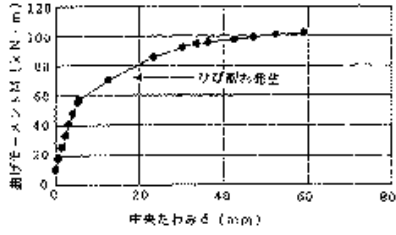
【図6】



【図7】

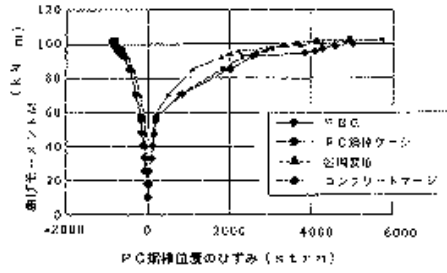


【図 8】



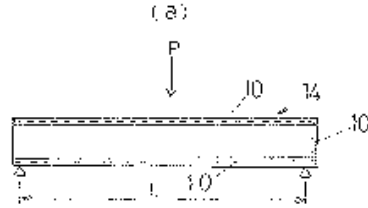
曲げモーメント-中央たわみ曲線

【図 9】



各種計測方法によるPC鋼棒位置での歪の関係

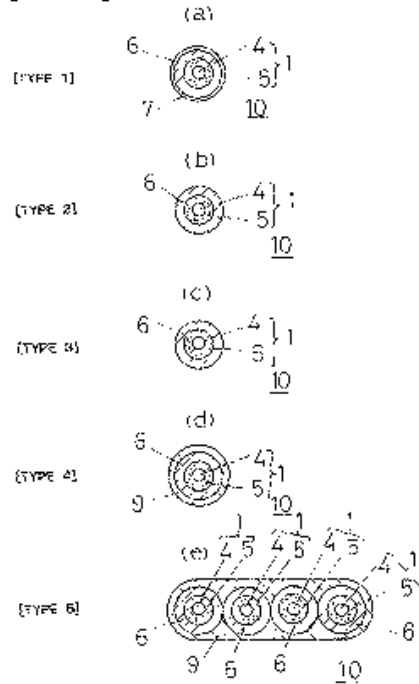
【図 10】



(b)



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 洋一

東京都台東区柳橋2-19-6 三谷セキサン株式会社内

審査官 高橋 三成

(56)参考文献 特開平10-311813 (JP, A)

特開2002-004272 (JP, A)

特開平07-077582 (JP, A)

特開平10-197297 (JP, A)

特開2000-017656 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E02D 5/58

E02D 5/28

E02D 5/30