

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-89974

(P2006-89974A)

(43) 公開日 平成18年4月6日(2006.4.6)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
E O 4 B 1/24 (2006.01)	E O 4 B 1/24 E S W R	2 D O 4 6
E O 2 D 27/00 (2006.01)	E O 2 D 27/00 D	2 E 1 2 5
E O 4 B 1/58 (2006.01)	E O 4 B 1/58 5 1 1 F	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-274945 (P2004-274945)  
 (22) 出願日 平成16年9月22日 (2004.9.22)

(71) 出願人 000206211  
 大成建設株式会社  
 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号  
 (74) 代理人 100076428  
 弁理士 大塚 康德  
 (74) 代理人 100112508  
 弁理士 高柳 司郎  
 (74) 代理人 100115071  
 弁理士 大塚 康弘  
 (74) 代理人 100116894  
 弁理士 木村 秀二  
 (72) 発明者 今井 和正  
 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内

最終頁に続く

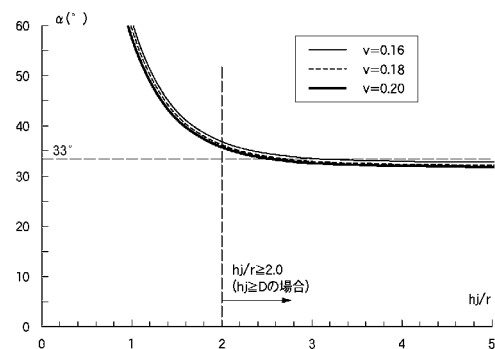
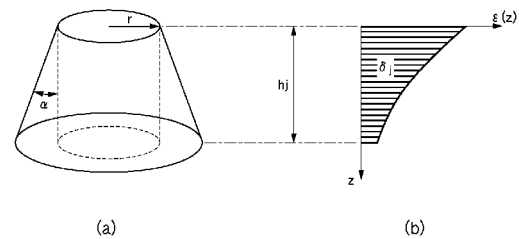
(54) 【発明の名称】 構造体の解析方法及び解析プログラム

(57) 【要約】

【課題】 露出柱脚のように、コンクリート造の構成要素を含む構造体を断面解析により弾塑性域にて解析する技術を提案すること。

【解決手段】 例えば、コンクリート基礎、アンカーボルト及びベースプレートの推定変形量を断面解析により算出する工程と、算出された各々の推定変形量に基づいて、接合部の弾塑性域での推定モーメント - 回転角関係を算出する工程と、を含み、コンクリート基礎の推定変形量を算出する工程では、圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として、断面積が圧縮荷重の作用面からの深度に従って所定の傾斜角度で拡大する円錐台形を設定し、該円錐台形の各水平断面毎のひずみを当該断面での力の釣合いから算出し、算出したひずみを積分して推定変形量を算出し、前記傾斜角度を弾性理論式から算出される変形量と、弾性域における推定変形量と、が等価となるように設定する。

【選択図】 図6



(c)

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

コンクリート造の第 1 部材の端面から突出する継手部材の端部を、第 2 部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第 1 部材と前記第 2 部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント - 回転角関係を推定する構造体の解析方法であって、

前記第 1 部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を弾塑性域において算出する工程と、

算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント - 回転角関係を算出する工程と、を含み、

10

各々の前記推定変形量は、

前記構造体の回転中心位置を仮設定して算出し、算出した前記推定変形量に基づく前記接合面の力の釣合いが釣合条件を満たすまで当該回転中心位置を変更して収斂計算を行うことで確定されることを特徴とする構造体の解析方法。

## 【請求項 2】

コンクリート造の第 1 部材の端面から突出する継手部材の端部を、第 2 部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第 1 部材と前記第 2 部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント - 回転角関係を推定する構造体の解析方法であって、

前記第 1 部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を断面解析により弾塑性域において算出する工程と、

20

算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント - 回転角関係を算出する工程と、を含み、

前記第 1 部材の前記推定変形量を算出する工程では、

前記プレートから前記第 1 部材へ作用する圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として、断面積が前記圧縮荷重の作用面からの深度に従って所定の割合で拡大する立体図形を設定し、該立体図形の各断面毎のひずみを当該断面での力の釣合いから算出し、算出したひずみを前記立体図形の深さ方向に積分して前記推定変形量を算出し、

前記所定の割合を、

弾性理論式から算出される前記第 1 部材の変形量と、弾性域における前記第 1 部材の前記推定変形量と、が等価となるように設定することを特徴とする構造体の解析方法。

30

## 【請求項 3】

前記立体図形が、前記作用面の面積と同じ面積の端面を有する円錐台形状であり、

前記所定の割合が、円錐台形状の周面の傾斜角度であることを特徴とする請求項 2 に記載の構造体の解析方法。

## 【請求項 4】

更に、

前記弾性理論式に基づき算出された、前記傾斜角度と、前記端面の半径と前記円錐台形状の高さとの比と、の関係を予め設定する工程を含み、

前記傾斜角度は、

40

前記予め設定された関係と、前記作用面の面積と、に基づいて設定されることを特徴とする請求項 3 に記載の構造体の解析方法。

## 【請求項 5】

前記傾斜角度は、個々の曲げモーメント及び回転角を算出する毎に設定されることを特徴とする請求項 3 に記載の構造体の解析方法。

## 【請求項 6】

前記第 1 部材、前記継手部材、前記プレート、前記第 2 部材が、それぞれ、コンクリート柱脚基礎、アンカーボルト、ベースプレート、柱鉄骨であり、前記構造体が露出柱脚であって、

前記傾斜角度が予め定めた値であることを特徴とする請求項 3 に記載の構造体の解析方

50

法。

【請求項 7】

コンクリート造の第 1 部材の端面から突出する継手部材の上端部を、第 2 部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第 1 部材と前記第 2 部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント - 回転角関係を推定する構造体の解析プログラムであって、コンピュータに、

前記第 1 部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を弾塑性域において算出する工程と、

算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント - 回転角関係を算出する工程と、

を実行させる解析プログラムであって、

各々の前記推定変形量は、

前記構造体の回転中心位置を仮設定して算出し、算出した前記推定変形量に基づく前記接合面の力の釣合いが釣合条件を満たすまで当該回転中心位置を変更して収斂計算を行うことで確定されることを特徴とする構造体の解析プログラム。

10

【請求項 8】

コンクリート造の第 1 部材の端面から突出する継手部材の上端部を、第 2 部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第 1 部材と前記第 2 部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント - 回転角関係を推定する構造体の解析プログラムであって、コンピュータに、

20

前記第 1 部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を断面解析により弾塑性域において算出する工程と、

算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント - 回転角関係を算出する工程と、

を実行させる解析プログラムであって、

前記第 1 部材の前記推定変形量を算出する工程では、

前記プレートから前記第 1 部材へ作用する圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として、断面積が前記圧縮荷重の作用面からの深度に従って所定の割合で拡大する立体図形を設定し、該立体図形の各断面毎のひずみを当該断面での力の釣合いから算出し、算出したひずみを前記立体図形の深さ方向に積分して前記推定変形量を算出し、

30

前記所定の割合を、

弾性理論式から算出される前記第 1 部材の変形量と、弾性域における前記第 1 部材の前記推定変形量と、が等価となるように設定することを特徴とする構造体の解析プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露出柱脚等の構造体の解析技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

露出柱脚に代表される構造体の解析方法の一つとして断面解析法が挙げられる。断面解析法では計算が簡便であるものの、一般に構造体の構成要素の全部又は一部を剛体又は弾性体として取り扱う場合が多く、構成要素が塑性化した場合の評価が困難となる。特に断面解析法においてコンクリート造の構成要素については塑性化後の変形を考慮した手法は提案されていない。

40

【0003】

しかし、軸力が高い柱の柱脚ではコンクリート基礎が大きな圧縮力を負担するので、早期にコンクリートが塑性化する傾向にある。また、必要な曲げ耐力を確保しつつ接合部をコンパクトに設計するため、例えば、アンカーボルトを多数配設する場合や、太径又は高強度のアンカーボルトを採用した場合にも、同様に早期にコンクリートが塑性化する傾向

50

にある。

【0004】

このように、コンクリートに大きな圧縮力負担を期待し、柱脚に所定の回転変形性能を期待する場合、従来の弾性域での断面解析法では合理的な設計が不可能であり、コンクリートの応力を緩和するためにベースプレートとコンクリートを大きくすること必要がある。応力状態が厳しくない場合でも、性能設計では、ある外力に対してどの程度の損傷（ひずみ）が生じるか把握する必要があるが、従来の弾性域での断面解析法では、外力に対してどの程度のひずみが生じるかを把握するのは困難であり、過度な安全率を確保して設計していたのが実情である。従って、コンクリート造の構成要素を含めて弾塑性域にて構造体を評価する手法が必要であり、とりわけ、露出柱脚のような構造体について合理的な性能設計を行うためには、その構成要素であるベースプレート、アンカーボルト、コンクリート基礎のひずみを曲げモーメント - 回転角関係と関連付けて弾塑性域で推定する評価法が必要である。

10

【0005】

断面解析法を用いた露出柱脚の解析方法の従来例としては特許文献1及び非特許文献1に記載の手法がある。しかし、特許文献1のものは塑性域での評価を考慮していない。また、非特許文献1のものはアンカーボルトとベースプレートについては弾塑性域での断面解析を行っているが、コンクリート基礎についてはその最上層部のみ弾塑性域で評価しているに過ぎず、コンクリート内部については弾性域で評価されている。

【0006】

一方、断面解析法に代わる構造体の解析方法として弾塑性性状を考慮した有限要素法を用いたものが提案されている（例えば特許文献2）。この手法は実験のシミュレーションなどに一般的に用いられる手法であるが、条件の入力が煩雑であり、また、計算に長時間が必要となるため、多様なモデルの検討には不向きである。経済的で安全性の高い、最適な設計をするためには試行錯誤を繰り返す必要があるが、露出柱脚のように構造体の性能を決定するパラメータ（構成要素の強度、寸法、配置等）が多数に及ぶ場合には有限要素法により最適解を見出すのは現実的に困難である。

20

【0007】

【特許文献1】特開2002-339455号公報

【特許文献2】特開2000-17740号公報

【非特許文献1】「CFT柱の露出型柱脚の弾塑性変形性状の解析的研究」, 日本建築学会九州支部研究報告, 2002年3月, 第41号, P473-476

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上述した従来の問題点に着目してなされたものであり、その目的は、コンクリート造の構成要素を含む構造体を断面解析により弾塑性域にて解析する技術を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明によれば、コンクリート造の第1部材の端面から突出する継手部材の端部を、第2部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第1部材と前記第2部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント - 回転角関係を推定する構造体の解析方法であって、前記第1部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を弾塑性域において算出する工程と、算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント - 回転角関係を算出する工程と、を含み、各々の前記推定変形量は、前記構造体の回転中心位置を仮設定して算出し、算出した前記推定変形量に基づく前記接合面の力の釣合いが釣合条件を満たすまで当該回転中心位置を変更して収斂計算を行うことで確定されることを特徴とする構造体の解析方法が提供される。

40

【0010】

50

また、本発明によれば、コンクリート造の第1部材の端面から突出する継手部材の端部を、第2部材の端部に設けたプレートに連結することで、前記第1部材と前記第2部材とが接合された構造体について、接合面の弾塑性域の曲げモーメント-回転角関係を推定する構造体の解析方法であって、前記第1部材、前記継手部材及び前記プレートの推定変形量を断面解析により弾塑性域において算出する工程と、算出された各々の前記推定変形量に基づいて、接合面の弾塑性域での推定曲げモーメント-回転角関係を算出する工程と、を含み、前記第1部材の前記推定変形量を算出する工程では、前記プレートから前記第1部材へ作用する圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として、断面積が前記圧縮荷重の作用面からの深度に従って所定の割合で拡大する立体図形を設定し、該立体図形の各断面毎のひずみを当該断面での力の釣合いから算出し、算出したひずみを前記立体図形の深さ方向に積分して前記推定変形量を算出し、前記所定の割合を、弾性理論式から算出される前記第1部材の変形量と、弾性域における前記第1部材の前記推定変形量と、が等価となるように設定することを特徴とする構造体の解析方法が提供される。

10

**【0011】**

また、本発明によれば、これらの解析方法をコンピュータで実行する解析プログラムが提供される。

**【発明の効果】****【0012】**

本発明によれば、コンクリート造の構成要素を含む構造体を断面解析により弾塑性域にて解析することができる。

20

**【発明を実施するための最良の形態】****【0013】**

以下、本発明の解析方法について露出柱脚を対象とする場合を例に挙げて説明する。図1(a)は解析の対象となる露出柱脚Aの一部破断正面図、(b)は露出柱脚Aの平面図である。露出柱脚Aはコンクリート基礎(第1部材)1の上端面から突出するアンカーボルト(継手部材)2の上端部を、鉄骨柱(第2部材)3の下端部に設けたベースプレート(プレート)4に連結することで、コンクリート基礎1と鉄骨柱3とが接合された構造体である。ベースプレート4とコンクリート基礎1の上端面との間にはモルタル5が配設されている。アンカーボルト2は例えばネジ節鉄筋であり、本実施形態の場合、図1(b)に示すように鉄骨柱3の周囲に略等間隔にて複数(8本)配設されている。

30

**【0014】**

次に、本実施形態による露出柱脚Aの解析手順について説明する。図2は本実施形態の解析処理を示すフローチャートであり、例えば、キーボード、マウス等の入力手段、ディスプレイ等の表示手段、ハードディスク等の記憶手段、等を備えたパソコンに代表される、コンピュータにより実行される。また、図4及び図5は露出柱脚Aが支持する建築物に水平力が作用した場合の、露出柱脚Aの変形例を誇張して示した図である。

**【0015】**

S1では解析の条件を入力する。ここでは、解析の対象となるコンクリート基礎1、アンカーボルト2及びベースプレート4の寸法、特性等のパラメータを入力し設定する。コンピュータは入力された条件に従って以下の処理を実行することになる。S2ではコンクリート基礎1の曲率 $\rho$ を設定する。本実施形態ではこの曲率単位で露出柱脚Aの接合面(コンクリート基礎1上端面)の曲げモーメント-回転角を計算し、曲率を適宜変化させることで弾塑性域に渡る露出柱脚Aの接合面の曲げモーメント-回転角関係を得る。

40

**【0016】**

S3では回転中心位置を仮設定する。回転中心位置は例えば図4に示すように仮に設定される。S4ではコンクリート基礎1の推定変形量を算出する。ここでは、図4に示すようにモルタル5を介してベースプレート4からコンクリート基礎1が受ける圧縮荷重による変形量を算出する。図3(a)はS4のコンクリート基礎の推定変形量算出処理のフローチャートである。S101ではベースプレート4から受ける圧縮荷重の応力分布を算出する。コンクリート基礎1の弾塑性域での応力-ひずみ関係を表現するモデルとしては、

50

例えば、図7(a)に示すモデルを用いることができ、その数式モデルとしては下記の通りとなる。

・弾性域(図7(a)のO-A間： $\sigma_c < \sigma_m$ )  
 $\sigma_c = E_c \cdot \epsilon_c + \{ (f'_c - E_c \cdot \epsilon_m) / \epsilon_m^2 \} \cdot \epsilon_c^2 \cdot \dots$  (式1)

・塑性域(図7(a)のA-B間： $\sigma_c > \sigma_m$ )  
 $\sigma_c = ( \sigma_u - f'_c ) / ( \epsilon_u - \epsilon_m ) \times ( \epsilon_c - \epsilon_m ) + f'_c \cdot \dots$  (式2)

なお、

$\sigma_u = 2 ( S - f'_c \cdot \epsilon_m ) / ( \epsilon_u + \epsilon_m ) + f'_c$ 、  
 $E_c = 21,000 \times ( \sigma_u / 23 )^{1.5} \times ( f'_c / 20 )^{0.5}$ 、であり、

$\sigma_c$ ：圧縮応力、 $\epsilon_c$ ：圧縮ひずみ、 $E_c$ ：コンクリートのヤング率、 $f'_c$ ：圧縮強度、  
 $\epsilon_m$ ： $\sigma_c = f'_c$ の時のひずみ、 $\sigma_u$ ： $\epsilon_u = \epsilon_u$ の時の応力、 $\epsilon_u$ ：曲げ圧縮限界ひずみ、  
 $\gamma$ ：単位容積重量、 $S$ ： $\sigma_c = f'_c$ までの応力-ひずみ曲線で囲まれる面積(図7(a)参照。)、である。そして、S2で設定した曲率 $\sigma_c$ とS3で仮設定した回転中心位置とに基づいて圧縮ひずみ $\epsilon_c$ を算出し、算出した値に基づいて式1及び式2を用いて、圧縮応力 $\sigma_c$ を算出し、コンクリート基礎1の圧縮荷重の応力分布を算出する。

10

【0017】

図3(a)に戻り、S102ではS101で算出した応力分布に基づいて、応力の合力 $N_c$ とその作用位置(コンクリート基礎1の圧縮縁からの距離： $X_c$ 。図4を参照。)を算出する。S103ではコンクリート基礎1の圧縮側の変形量を算出する。本実施形態では変形量として、合力 $N_c$ の作用位置におけるコンクリート基礎1のめり込み量 $\delta_j$ (図4参照。)と、回転角 $\theta_c$ (コンクリート基礎1の変形前の上端面と、回転中心位置及び $X_c$ におけるコンクリート基礎1の変形後の上端面を通る線と、がなす角度。図4参照。)と、を算出する。

20

【0018】

ここで、めり込み量 $\delta_j$ は次のように算出する。まず、ベースプレート4からコンクリート基礎1へ作用する圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として、水平断面積が圧縮荷重の作用面からの深度に従って所定の割合で拡大する立体図形を設定する。そして、その立体図形の各水平断面毎のひずみを当該水平断面での力の釣合いから算出し、算出したひずみを立体図形の深さ方向に積分してめり込み量 $\delta_j$ を算出する。その際、前記所定の割合は弾性理論式から算出されるめり込み量 $\delta'_j$ と、弾性域におけるめり込み量 $\delta_j$ と、が

30

【0019】

本実施形態の場合、立体図形として図6(a)に示すような円錐台形状のものを採用する。この立体図形は、圧縮荷重の作用面の面積と同じ面積の上端面を有する円錐台である。つまり、上端円の半径 $r$ は、

$$r = ( b \cdot X_r / \dots )$$

である。なお、 $b$ ：コンクリート基礎1の幅(図1(b)参照。)、 $X_r$ ：コンクリート基礎1の圧縮縁から回転中心位置までの距離(図4を参照。)である。また、この立体図形は、その高さ(深さ)がコンクリート基礎1の高さ $h_j$ (図4参照)である。

【0020】

そして、めり込み量 $\delta_j$ は、図6(b)に示すように立体図形の上端面からの深さを $z$ として、下式に示すように立体図形の各水平断面毎のひずみ $\epsilon(z)$ を $0 \sim h_j$ で積分することで算出できる。

40

$$\delta_j = \int_0^{h_j} \epsilon(z) \cdot d z$$

各水平断面毎のひずみ $\epsilon(z)$ は、水平断面の圧縮力が $N_c$ と等しくなるように、例えば、上記の式1及び式2から算出することができる。

【0021】

次に、立体図形の水平断面積の変化の割合(半径 $r$ の円柱の側面と円錐台の側面とのなす傾斜角度)は下記の弾性理論式から算出されるめり込み量 $\delta'_j$ と上記の手法によるめり込み量 $\delta_j$ とが等価となるように設定する。つまり、弾性域において $\delta'_j = \delta_j$ となるよ

50

うに傾斜角度  $\theta_j$  を設定する。

$$\theta_j = 2 \cdot r \cdot \sigma_0 \cdot (1 - \nu^2) / E_c \times \left\{ \frac{1}{4} - \left( \left( 1 + \frac{z^2}{r^2} \right) - \frac{z}{r} \right) \times \left( 1 + \frac{z}{r} / \left( 2 \left( 1 - \nu \right) \cdot \left( 1 + \frac{z^2}{r^2} \right) \right) \right) \right\}$$

ここで、 $\sigma_0$ ：圧縮荷重の作用面の平均応力、 $\nu$ ：コンクリートのポアソン比である。設定された  $\theta_j$  を塑性域におけるめり込み量  $\delta_j$  の計算にも用いることで弾塑性域に渡るめり込み  $\delta_j$  を得ることができる。

#### 【0022】

一方、上記の弾性理論式に従うと、傾斜角度  $\theta_j$  は図6(c)に示すようにコンクリートのポアソン比  $\nu$  と、立体図形の上端面の半径  $r$  と高さ  $h_j$  との比 ( $h_j / r$ ) と、により変化する。弾塑性域におけるめり込み量  $\delta_j$  の計算においては、コンクリートのポアソン比  $\nu$  と、立体図形の上端面の半径  $r$  と高さ  $h_j$  との比 ( $h_j / r$ ) とから、図6(c)に示す関係から傾斜角度  $\theta_j$  を設定することができる。ここで、半径  $r$  は上記の式に示したように圧縮荷重の作用面の面積により定められるので、傾斜角度  $\theta_j$  は図6(c)に示す関係と圧縮荷重の作用面の面積とに基づき設定することが可能である。

10

#### 【0023】

なお、図6(c)に示す関係を予め設定する工程を実行し、コンピュータの記憶手段に格納しておくことで、弾性理論式の演算を省略できる。図6(c)に示す関係は、演算式の形式で記憶手段に格納しておいてもよいし、ルックアップテーブルの形式で記憶手段に格納しておいてもよい。この時のパラメータとしては、高さ  $h_j$  は固定なので、ポアソン比  $\nu$  と、半径  $r$  (又は圧縮荷重の作用面の面積) とすることができる。

20

#### 【0024】

また、この傾斜角度  $\theta_j$  は各曲率  $\rho_j$  毎 (つまり個々の曲げモーメント、回転角を算出するステップ毎) に逐一設定することでより精度の高い計算結果を得られる。尤も、露出柱脚へ適用する場合は、寸法関係の範囲等がある程度定型化し、 $h_j / r = 2$ 、 $\nu = 0.16 \sim 0.20$  となるため、傾斜角度  $\theta_j$  は概ね  $33^\circ$  となる。従って、一律に  $\theta_j = 33^\circ$  として計算することで計算時間の短縮化を図ることができる。以上の計算により、めり込み量  $\delta_j$  が算出されることになる。

#### 【0025】

なお、本実施形態では、立体図形として円錐台形状のものを採用したが、圧縮荷重の作用面として取り扱われる端面から断面積が深度に従って所定の割合で増加する他の立体図形も採用可能であり、例えば、略円錐台形状で側面の傾斜が線形ではなく曲線となるような立体図形も採用可能である。

30

#### 【0026】

次に、コンクリート基礎1の回転角  $\theta_c$  は以下の式から算出できる。

$$\theta_c = \delta_j / (X_r - X_c)$$

以上により、S4のコンクリート基礎の推定変形量算出処理が終了する。

#### 【0027】

図2に戻り、S5ではベースプレート4の推定変形量を算出する。図3(b)はS5のベースプレートの推定変形量算出処理のフローチャートである。S201では圧縮側におけるベースプレート4の跳ね出し部がコンクリート基礎1から反力として受ける応力の合力  $N'_c$  とその作用位置 (鉄骨柱3の縁からの距離:  $l_{c0}$ 。図5を参照。) を算出する。跳ね出し部分とは、鉄骨柱3の周縁に位置する部分である。また、合力  $N'_c$  はS101で算出した応力分布のうち、跳ね出し部分に反力として作用するものから算出することができる。

40

#### 【0028】

S202ではベースプレート4の変形量として合力  $N'_c$  の作用位置におけるたわみ角  $\theta_{bc}$  (図5を参照。) を算出する。ベースプレート4の変形量としては、この他にも引張側のたわみ角  $\theta_{bt}$  (図5を参照。) も算出するが、これは計算の都合上、後述するアンカーボルトの推定変形量算出処理で算出する。たわみ角  $\theta_{bc}$  は以下の式により算出できる。

$$\theta_{bc} = N'_c \cdot l_{c0}^2 / (3 \cdot E_s \cdot I_b) + k \cdot N'_c / (G_s \cdot A_b)$$

50

ここで、 $k$ ：ベースプレート4の形状係数、 $E_s$ ：ベースプレート4のヤング率、 $G_s$ ：ベースプレート4のせん断弾性係数、 $I_b$ ：ベースプレート4の鉛直断面における断面二次モーメント、 $A_b$ ：ベースプレート4の鉛直断面積であり、

$I_b = b_b \cdot t_b^3 / 12$  ( $b_b$ ：ベースプレート4の幅(図1(b)参照)、 $t_b$ ：ベースプレート4の板厚)、

$$A_b = b_b \cdot t_b$$

である。

#### 【0029】

次に、図2に戻り、S6では引張側に生じる回転角、つまり、柱脚回転角を以下の式により算出する。

$$= c + 1_{cG} / (X_r - X_G) \cdot b_c$$

次に、S7ではアンカーボルト2の推定変形量を算出する。図3(c)はS7のアンカーボルトの推定変形量算出処理のフローチャートである。S301では回転中心位置よりも引張側に最も離れたアンカーボルト2がベースプレート4から受ける引張力 $T_{a1}$ (図4を参照。)を仮設定して $T_{a1}^*$ とする。S302では引張力 $T_{a1}$ の反力により生じる、ベースプレート4の引張側のたわみ角 $b_t$ (図5を参照。)を下式により算出する。

#### 【0030】

$$b_t = T_{a1}^* \cdot 1_{tG}^2 / (3 \cdot E_s \cdot I_b) + k \cdot T_{a1}^* / (G_s \cdot A_b)$$

ここで、 $1_{tG}$ ：鉄骨柱3の縁から引張力 $T_{a1}$ の作用位置(回転中心位置よりも引張側に最も離れたアンカーボルト2の軸心)までの距離である。

#### 【0031】

次に、S303では回転中心位置から引張側に位置する各アンカーボルト2の変形量を計算する。ここではアンカーボルト2の変形量として抜け出し量を求める。コンクリート基礎1の圧縮縁から距離 $d_i$ (図4参照。)に位置するアンカーボルト2の抜け出し量を $S_i$ とする。なお、回転中心位置よりも引張側に最も離れたアンカーボルト2の抜け出し量を $S_1$ 、コンクリート基礎1の圧縮縁から距離を $d_1$ と表記する。抜け出し量 $S_i$ は下式により算出できる。

$$S_i = \cdot (d_i - X_r)$$

但し、

$$S_1 = \cdot (d_1 - X_r) - b_t \cdot 1_{tG}$$

次に、アンカーボルト(本実施形態ではネジ節鉄筋)2のひずみと抜け出し量との関係を表す数式モデルを用いて、回転中心位置から引張側に位置する各アンカーボルト2のうち、コンクリート基礎1の圧縮縁から距離 $d_i$ に位置する各アンカーボルト2のひずみを $a_i$ 、引張応力を $\sigma_{ai}$ 、とそれぞれ置いて下式によりこれらを算出する。

$$S_i = f(\sigma_{ai}) \quad \text{***式3}$$

$$\sigma_{ai} = \sigma_{ay} \cdot E_s \quad (\sigma_{ai} < \sigma_{ay} \text{の場合})$$

$$\sigma_{ai} = \sigma_{ay} \quad (\sigma_{ai} \geq \sigma_{ay} \text{の場合})$$

ここで、 $\sigma_{ay}$ ：アンカーボルト2の降伏応力、 $\sigma_{ay}$ ：アンカーボルト2の降伏ひずみ、である。

#### 【0032】

式3の数式モデルとして、ネジ節鉄筋のひずみと抜け出し量との関係を表す数式モデルとしては、例えば、下式のものが採用できる。

#### 【0033】

$$f(\sigma_{ai}) = 0.73 \cdot \{ \ln(1 + 5s) \}^3 / (1 + \sigma_{ai} \times 10^5)$$

$$s = 1000 \cdot S / d_b$$

ここで、 $\sigma_{ai}$ ：付着応力、 $S$ ：抜け出し量、 $s$ ：すべり量、 $d_b$ ：鉄筋径、 $\sigma_{ai}$ ：鉄筋のひずみ、である。

#### 【0034】

次に、S304では、回転中心位置から引張側に位置する各アンカーボルト2のうち、コンクリート基礎1の圧縮縁から距離 $d_i$ に位置するアンカーボルト2の引張力を $T_{ai}$ と

10

20

30

40

50



し、これを下式により算出する。

$$T_{ai} = n_{ai} \cdot a_a \quad \text{*** 式 4}$$

ここで、 $n_{ai}$ ：コンクリート基礎 1 の圧縮縁から距離  $d_i$  に位置するアンカーボルト 2 の本数、 $a_a$ ：アンカーボルト 2 の断面積、である。

【0035】

次に、S305では式4により算出される、 $T_{a1}$ がS301で仮設定した $T_{a1}^*$ と一致するか否かを判定する。一致する場合は処理を終了し、一致しない場合はS301へ戻り、 $T_{a1}^*$ を別の値に設定し、 $T_{a1} = T_{a1}^*$ となるまで上述した処理を繰り返し、収斂計算を行う。以上によりアンカーボルトの推定変形量算出処理が終了する。

【0036】

図2に戻り、S8では算出した各推定変形量に基づく接合面の力の釣合いが釣合条件を満たすか否かを判定する。本実施形態の場合、S4～S7の算出結果が下式の釣合条件を満たすか否かを判定する。

【0037】

$$N = N_c + T_{ai}$$

ここで、 $N$ ：S1の条件入力時に設定される柱軸力、である。

該当する場合はS9へ進み、該当しない場合はS3へ戻って回転中心位置を変更して仮設定し直し、再度S4～S7の計算を実行し、収斂計算を行う。

【0038】

S9では、仮設定した値を確定し、各推定変形量を確定する。S10では露出柱脚Aの曲げモーメント $M$ を下式により求める。

$$M = N_c \cdot (D/2 - X_G) + T_{ai} (D/2 - d_i)$$

ここで、 $D$ ：コンクリート基礎1のせい(図1(b)参照。)

S6で求めた柱脚の回転角 $\theta$ とS9で求めた柱脚の曲げモーメント $M$ とにより、S2で設定した曲率 $\rho_c$ における、推定曲げモーメントと、回転角 $\theta$ が算出されたことになる。

【0039】

S11では、予定していた全ての曲率 $\rho_c$ について上記の演算が終了したか否かを判定する。終了していない場合はS2へ戻り、曲率 $\rho_c$ を変えて上記の演算を実行する。終了している場合には処理全体を終了する。結果として、弾塑性域に渡る推定モーメント - 回転角関係と共に、露出柱脚Aの各構成要素の変形量(ひずみ)が得られる。

【0040】

なお、建物設計時に露出柱脚Aの回転剛性 $K_{BS}$ が必要な場合は、図7(b)に示すように、算出された曲げモーメント - 回転角関係上のある点(同図のA)における、曲げモーメント $M_A$ と回転角 $\theta_A$ との比(下式)として求めることができる。

【0041】

$$K_{BS} = M_A / \theta_A$$

剛性を設定する点(同図のA)は設計時に想定する応力或いは変形に応じて設定することができ、例えば、コンクリート基礎1とアンカーボルト2とのいずれかが短期許容応力度に達した点を用いればよい。

【0042】

< 実験結果との比較 >

図8及び図9は上記実施形態による解析結果と実験結果との比較データを示す。図8(a)は曲げモーメント $M$ と回転角 $\theta$ の関係の解析結果と実験結果を示す。図8(b)は曲げモーメント $M$ とベースプレート4の圧縮側の回転角(たわみ角 $\theta_{bc}$ )の関係の解析結果と実験結果を示す。図8(c)は曲げモーメント $M$ とベースプレート4の引張側の回転角(たわみ角 $\theta_{bt}$ )の関係の解析結果と実験結果を示す。いずれの比較データにおいても解析結果と実験結果とが概ね一致していることが分かる。

【0043】

図9(a)は回転角 $\theta$ と回転中心位置( $X_r$ ：コンクリート基礎1の圧縮縁から回転中心位置までの距離)の推移の解析結果と実験結果を示す。コンクリート基礎1のせいは9

10

20

30

40

50

00 mmである。図9 (b) はコンクリート基礎1の圧縮縁からの距離とベースプレートの変形量との関係の解析結果と実験結果を示す。同図の条件1乃至3とは解析及び実験の条件を示し、水平荷重の作用位置(図4におけるコンクリート基礎1の上面から高さ $h_0$  (本例では $h_0 = 2.7$  m)の位置)につき、当該作用位置が、それぞれ $h_0 / 200$  m、 $h_0 / 100$  m、 $h_0 / 50$  mの移動量だけ移動するまで水平荷重を加えたものである。ベースプレートの変形量とは、当該作用位置が上記各移動量だけ移動した時の、ベースプレートの浮き上り又は沈み込み量であり、解析結果は回転中心位置からの距離とたわみ角 $\theta_t$ 並びにたわみ角 $\theta_c$ とにより算出される。各条件において解析結果と実験結果とが極めて近似していることが分かる。

【0044】

図9 (c) は図9 (b) について説明した上記条件1乃至3の場合におけるアンカーボルト2のひずみ分布の解析結果と実験結果を示す。縦軸は(定着深さ/アンカーボルト径)であり、定着深さとはコンクリート基礎1の上端面から定着板までの距離を意味する。

【0045】

<本実施形態の解析方法の利点>

1. 弾性域から塑性域まで曲げモーメント・回転角関係の推定が可能

従来の断面解析法ではコンクリート造の構成要素の弾塑性性状が考慮されていないので適用範囲が限定されていたが、本手法ではコンクリートの応力状態が厳しい場合にも適用でき、コンパクトな接合部でも多数のアンカーボルトを用いる接合部や高軸力柱の柱脚の設計を支援することができる。また、手法の検証のために行った実験との比較(図8 (a) )によれば、その推定精度はきわめて高いと言える。従って、解析結果を踏まえれば柱脚の曲げモーメントの推定誤差を見込んだ安全係数をより小さく設定した設計が可能となり、合理的・経済的設計が可能となる。

【0046】

更に、接続する他の部材(鉄骨柱、基礎梁)との耐力の大小比較を柱脚の各応力、各変形レベルで精度よく行えるので、当該他の部材の合理的・経済的設計にも貢献できる。

【0047】

2. 各構成要素の応力、ひずみの推定が可能

柱脚に想定される損傷としては、アンカーボルトの降伏・破断、基礎コンクリートの破壊が挙げられる。基礎コンクリートの破壊は脆性的なので設計上防止すべき破壊モードであり、そのひずみの推定が必要となる。柱脚の回転変形はアンカーボルトの抜け出し、基礎コンクリートのめり込みおよびベースプレートのたわみの組み合わせにより生じるが、従来法ではこれらの弾塑性性状が全ての校正要素については考慮されていないため、弾塑性域を含むコンクリートのひずみを推定できない。ベースプレート圧縮側に生じるたわみ角とコンクリートのめり込みによる回転角の和が柱脚の回転角となるが、その内訳を精度良く推定することが重要となる。同様にアンカーボルトの破断も避けるべきモードであり、そのひずみの推定が必要となる。

【0048】

図8 (b) 及び(c)並びに図9 (a)乃至(c)の比較データから分かるように、本実施形態によれば、ベースプレートの変形、コンクリートのめり込み量およびアンカーボルトのひずみを高い精度で推定できる。従って、柱脚の損傷(コンクリートの破壊、アンカーボルトの降伏・破断)が曲げモーメント・回転角関係上のどの時点で生じるかを推定できる。これを利用すれば、脆性破壊(コンクリートの破壊、アンカーボルトの破断)が生じない、安全かつ合理的・経済的な柱脚構成要素の仕様(強度、配置)を設定できる。更に、従来の解析方法の一つである、有限要素解析は入力と計算に膨大な時間がかかるので、多くのパラメータを変動させて試行錯誤により最適解を見出すのは現実には不可能であったが、本実施形態の手法は極めて短時間で計算できるので最適解を見出しやすい。

【0049】

なお、本実施形態では、露出柱脚を対象としたが、これに限らず、コンクリート造の部材の端面から突出する継手部材の端部を、他の部材の端部に設けたプレートに連結するこ

10

20

30

40

50

とで、両部材が接合された構造体であれば本発明の解析方法適用可能であり、例えば、コンクリート造柱と鉄骨造梁との接合構造についても適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】(a)は解析の対象となる露出柱脚Aの一部破断正面図、(b)は露出柱脚Aの平面図である。

【図2】本発明の一実施形態の解析処理を示すフローチャートである。

【図3】(a)はコンクリート基礎の推定変形量算出処理のフローチャート、(b)はベースプレートの推定変形量算出処理のフローチャート、(c)はアンカーボルトの推定変形量算出処理のフローチャート、である。

【図4】露出柱脚Aが支持する建築物に水平力が作用した場合の、露出柱脚Aの変形例を誇張して示した図である。

【図5】露出柱脚Aが支持する建築物に水平力が作用した場合の、露出柱脚Aの変形例を誇張して示した図である。

【図6】(a)はコンクリート基礎1へ作用する圧縮荷重により変形が生じる有効範囲として設定される立体図形の例を示す図、(b)は立体図形の深さ $z$ とひずみ $(z)$ との関係を示す図、(c)は傾斜角度 $\theta$ と、コンクリートのポアソン比 $\nu$ と、立体図形の上端面の半径 $r$ と高さ $h_j$ との比 $(h_j/r)$ との関係を示す図である。

【図7】(a)はコンクリート基礎1の弾塑性域での応力-ひずみ関係を表現するモデルの例を示す図、(b)は曲げモーメント-回転角関係と、回転剛性との関係を示す図である。

【図8】(a)乃至(c)は本発明の一実施形態による解析結果と実験例との比較データを示す。

【図9】(a)乃至(c)は本発明の一実施形態による解析結果と実験例との比較データを示す。

【符号の説明】

【0051】

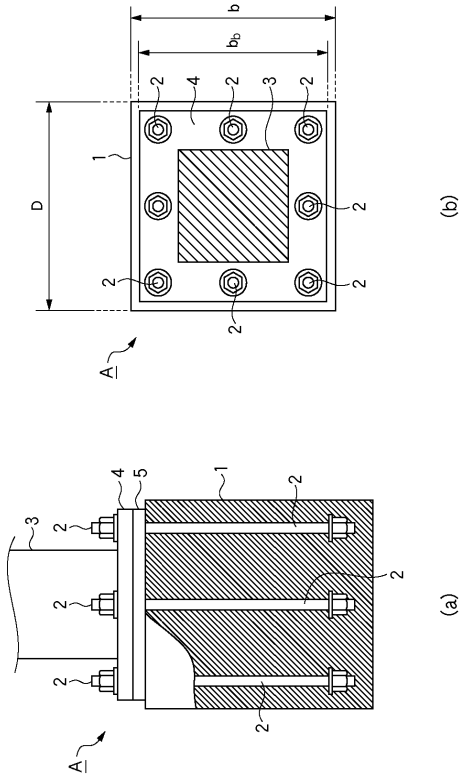
- A 露出柱脚(構造体)
- 1 コンクリート基礎(第1部材)
- 2 アンカーボルト(継手部材)
- 3 鉄骨柱(第2部材)
- 4 ベースプレート(プレート)

10

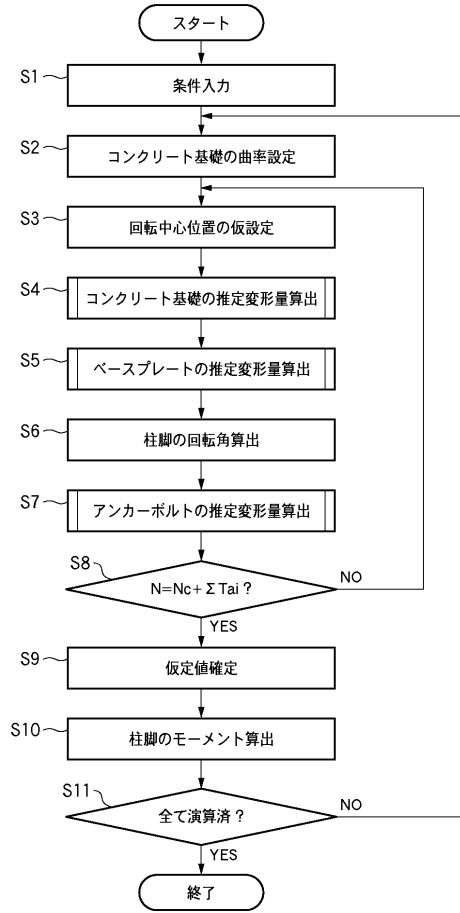
20

30

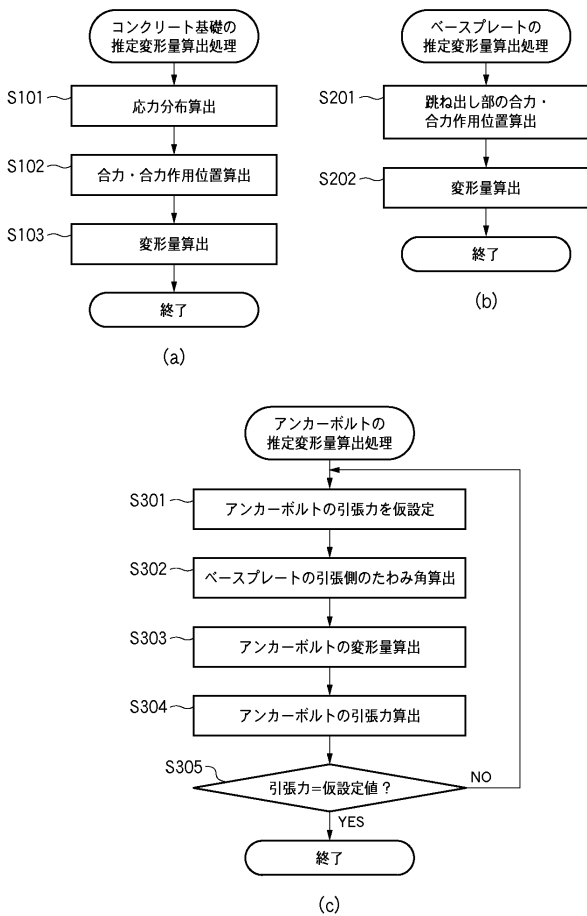
【 図 1 】



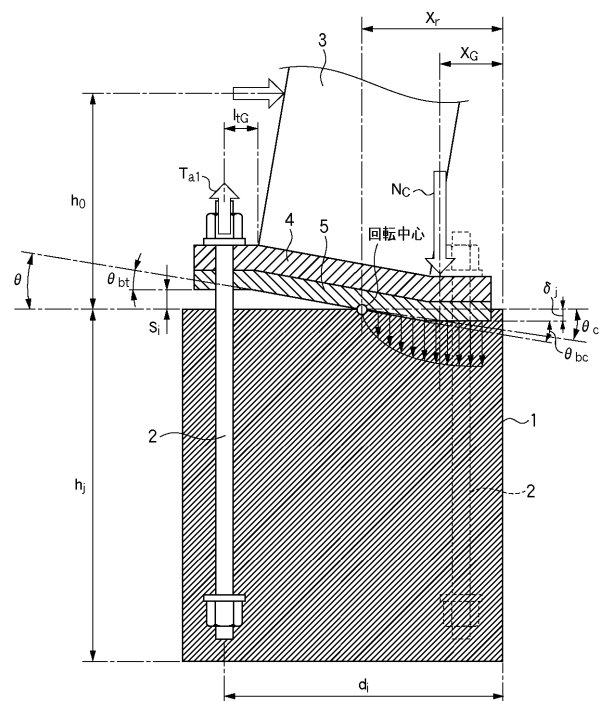
【 図 2 】



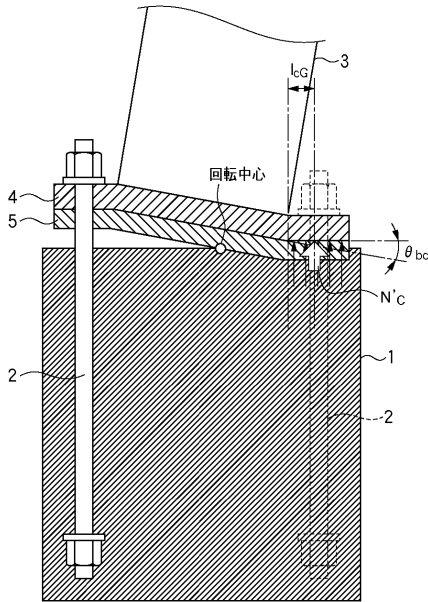
【 図 3 】



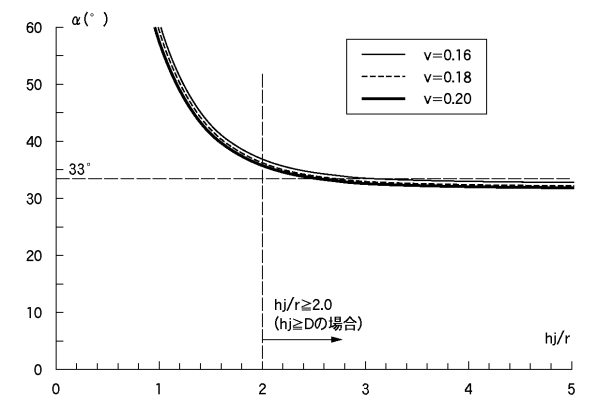
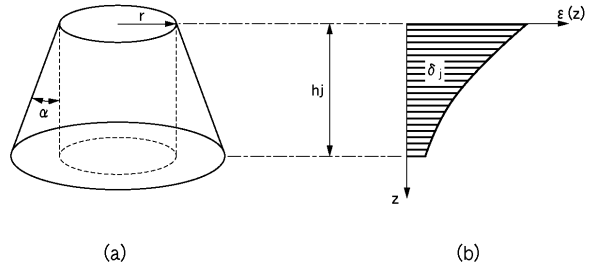
【 図 4 】



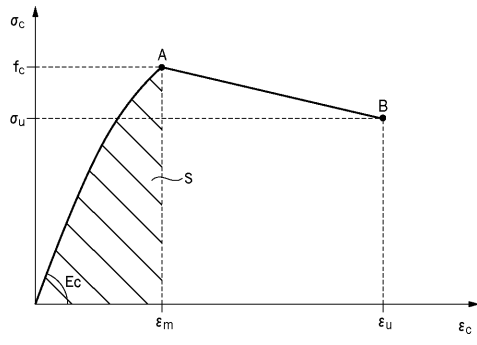
【 図 5 】



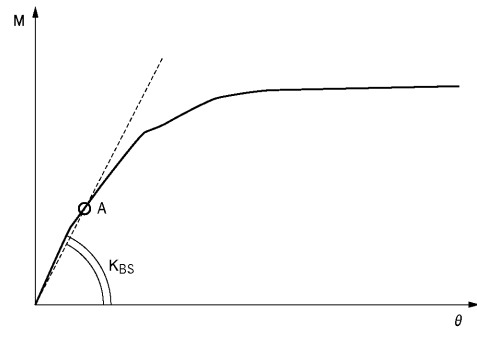
【 図 6 】



【 図 7 】

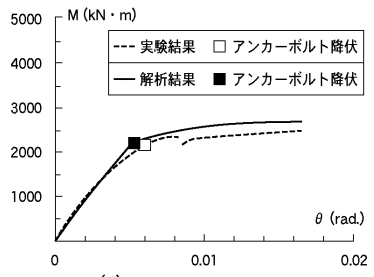


(a)

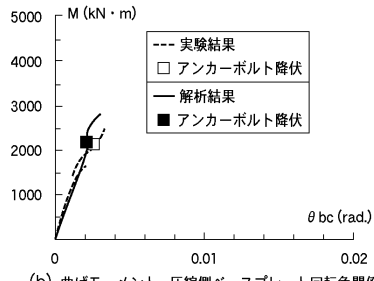


(b)

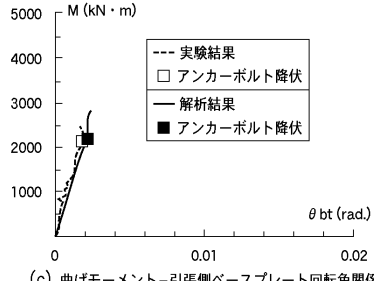
【 図 8 】



(a) 曲げモーメント-回転角関係

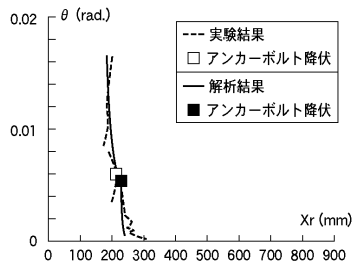


(b) 曲げモーメント-圧縮側ベースプレート回転角関係

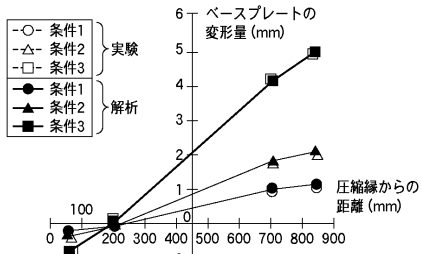


(c) 曲げモーメント-引張側ベースプレート回転角関係

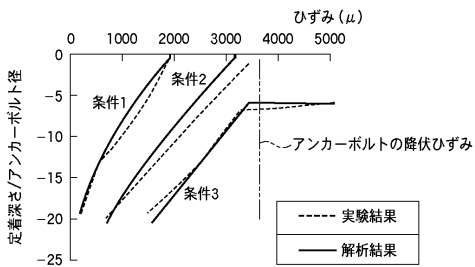
【 図 9 】



(a) 回転角-回転中心位置の推移



(b) ベースプレート変形量



(c) アンカーボルトのひずみ分布

## フロントページの続き

- (72)発明者 成原 弘之  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 川端 一三  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 高山 正春  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 木村 雄一  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 青野 英志  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 亀田 龍吉  
東京都新宿区西新宿一丁目2番1号 大成建設株式会社内

Fターム(参考) 2D046 AA17

2E125 AA04 AA45 AB01 AB12 AC04 AC15 AG03 AG12 AG28 BA12  
BA22 BB08 BB30 BD01 BE08 CA05