

打継を有する免震上部基礎の構造性能に関する実験的研究

その1 要素試験によるかご筋無しの場合の引張およびせん断性能

中川 太郎 三浦 靖史
東 毅 洋 佐々木 仁

概 要

本報告は煩雑になりがちな免震基礎フーチングの施工省力化を図る工法の開発において、アンカー材の引張およびせん断性能を確認した結果を示している。省力化工法はフーチング下部をプレキャスト(PCa)化するものである。このことでフーチング製造の際に型枠および大量のサポートを設置する手間を削減できる。一方PCa部と現場打ち部のコンクリート打継部が発生する。免震装置を固定する定着板付のアンカー材はこのPCa部を貫通して現場打ち部に固定される。試験では、無筋の打継部を介して設置されるアンカー材の引張およびせん断性能について検討した。

引張については、目粗しの効果で耐力上昇がみられ、PCa部の曲げ破壊で耐力が決まることがわかった。また、最大耐力は降伏線理論に基づき算定した結果と整合していることを確認した。せん断については、打継を有する試験体が打継無しの試験体より耐力上昇することがわかった。また、最大耐力は側方破壊耐力式での算定結果と整合していることを確認した。

Experimental study on the structural performance of the upper part of a reinforced concrete foundation for seismic isolation buildings with a horizontal joint

Part1: Tensile and shear performance without cage bars by element testing

Abstract

This paper shows the results of confirming the tensile and shear performance of anchor materials in the development of construction methods aimed at saving construction labor in seismic isolation foundations, which tend to be complicated. One way to save labor is to precast (PCa) the bottom of the foundation. This reduces the time and effort required to install the formwork and numerous supports during footings manufacture. Furthermore, a concrete joint is created between the PCa part and the cast-in-place part. Anchor material with a fixing plate that fixes the seismic isolation device penetrates this PCa part and is fixed to the cast-in-place part. The test examined the tensile and shear performance of anchor materials attached through unreinforced joints.

Regarding the tensile strength, it was found that the yield strength increased due to the effect of coarsening, and the yield strength was determined by bending fracture of the PCa part. It was also confirmed that the maximum yield intensity is in line with the results calculated based on the yield line theory. Regarding shear, it was found that a test piece with a joint had a higher yield strength than a test piece without a joint. It was also confirmed that the maximum strength was consistent with the calculation results of the transverse fracture strength formula.

キーワード: 免震、基礎、打継、引張
せん断、実験

§1. はじめに

免震上部基礎フーチングの施工において、コンクリート打設のための型枠製造には多大な労力が必要となる。そのため、上部基礎の下部部分を PCa 化することで型枠として兼用し、施工の省力化を図る工法を提案している。このことにより免震装置のベースプレートを固定する定着板付袋ナット(以下アンカー材とする)が PCa 部を貫通して現場打ち部へ定着されることになる。

本報では PCa 部と現場で造成する基礎の打継部を介して設置されるアンカー材の引張耐力およびせん断耐力に関して、アンカー材を 1 本取り出して実験により検証した結果を報告する^{1),2)}。

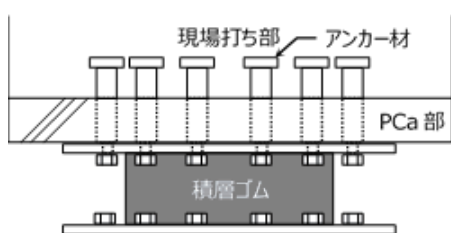


図1 免震上部基礎

§2. 引張抵抗に関する検討

2.1 実験概要

(1) 試験体

実験はアンカー材 1 本に対して引張荷重を行った。試験体の一覧を表 1、試験体形状を図 2 に示す。試験体モデルは打継部の有無の影響を調べるために、現場打ち部のみ[NR90]、PCa 部を目荒らして現場打ち部を打ち継いだもの[NR90-AP]、PCa 部も一体として現場打ちしたもの[NR220]を用いた。コンクリートは図 2 の試験体の天地逆にした形で打設し、NR90-AP は先に PCa 部を打設して上面の刷毛引きを行い、1 週間後に現場打ち部のコンクリートを打設した。写真 1 には刷毛引き 1 週間後の打継面の状況も示しており、目荒らしは溝幅、深さとも 3~5mm 程度とした。

表 1 試験体一覧

	NR90	NR90-AP	NR220
試験体概要 (図 2 参照)	B のみ	A+B	AB 一体
アン カ ー 材	埋込み深さ (mm)	90	90(130)*1
	定着板径 D, 厚さ t(mm)	D : φ100, t : 30	
	軸径 d(mm)	60	
計算コーン破壊耐力 P(kN)	90	296*2	370

*1 現場打ち部分の埋込深さであり括弧内は PCa 部を示す

*2 打継界面の接着力で決まるとして埋込み深さ 220 の場合の 0.8 倍とした³⁾

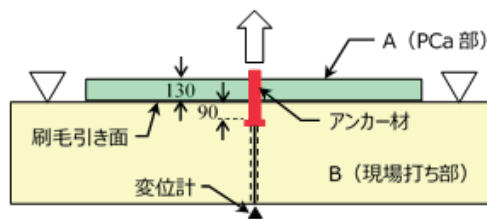


図2 試験体形状



写真1 打継部の刷毛引き後の状況

試験体はコーン破壊耐力にベース鉄筋の影響を排除するためアンカー材付近は無筋としている。コンクリートの設計基準強度は $F_c=30\text{N/mm}^2$ 、アンカー材の規格はS45Cで、表1に示す形状のものを削り出して作製した。

表1に示すコーン破壊耐力Pは、圧縮試験結果のコンクリート強度 F_{ct} を用いて指針⁴⁾により $P = 0.31\sqrt{F_{ct}} \cdot A_c$ で算定した。ここに、 $A_c = \pi \cdot l(l + D)$ である。ただし、指針では適用範囲が $l/D \geq 4$ となっている。

(2) 実験方法と計測

実験は現場打ち部の両端を支点として(図2)、アンカー材にカプラーを介して取り付けられたPC鋼棒を、試験体上部に設置したセンターホールジャッキで引張荷重して行った。アンカー材の拔出時は、定着板に設置した鋼棒の下端の変位量として測定した。NR90-APは現場打ち部とPCa部の打継部にモールドゲージを設置して剥離に係るひずみを計測した。

2.2 実験結果

(1) $l/D=0.9$ のアンカー材の引張耐力

図3にNR90で $l/D=0.9$ の場合の荷重-引張量関係を示す。指針の適用範囲外であるが、実験結果の最大耐力は概ね計算値と整合しているのがわかる。

図4に実験後のコーン破壊面を示している。最大耐力算定時のコーン破壊は45度で広がる投影面積を元に算定しているが、それよりも大きく広がった形状を示している。ここでコーン破壊はアンカー材から3段階の角度で進展するとし、埋込深さの1.7倍を半径とした領域のコンクリートが引張耐力に抵抗するとの研究結果⁵⁾がある。このことから、図の③の領域は最大耐力後に進展したと考えられる。また①、②の部分の投影面積は45度投影面積と概ね一致している。

図3には最終のひび割れ状況も示しており、文献6)と同様にアンカー材から放射状に延びるひび割れと、同心円状のひび割れが確認できた。

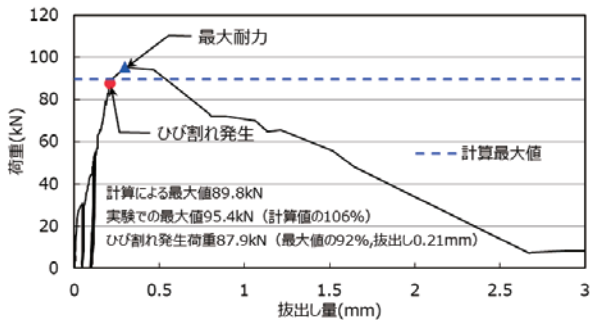


図3 荷重－拔出し量関係(NR90)

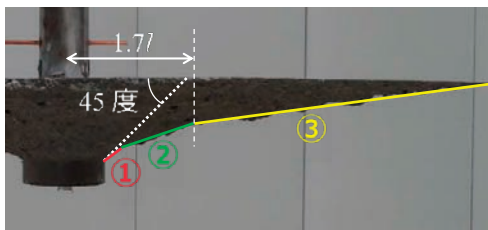


図4 コーン破壊面

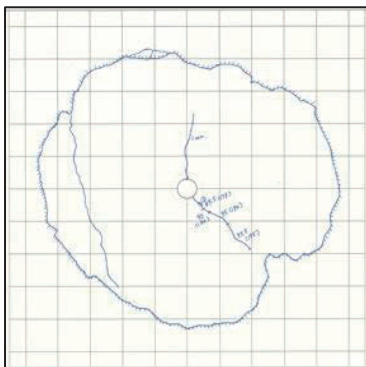


図5 コーン破壊によるひび割れ

(2) 引張耐力の検討

図6に3つのモデルの荷重－拔出し量関係の比較を示す。図よりNR90-APは、NR90に比較して3倍程度最大耐力が大きくなっているのがわかる。打継面の目荒しを十分行うことで一体の場合と同程度の引張強度が得られるとする結果があることから³⁾、界面の接着の効果によりPCa部が耐力向上に寄与したと考えられる。また、NR90とNR90-APの初期剛性がほぼ一致していることから、NR90-APは最初に現場打ち部のコーン破壊が進展し、その後PCa部の破壊に至ったと考えられる。一方、NR220は両者に比較して初期剛性が小さくなっており、NR90-APとNR220は異なる破壊形式を呈していたと考えられ、これは図7に示す最終ひび割れ

れ状況からも確認できる。

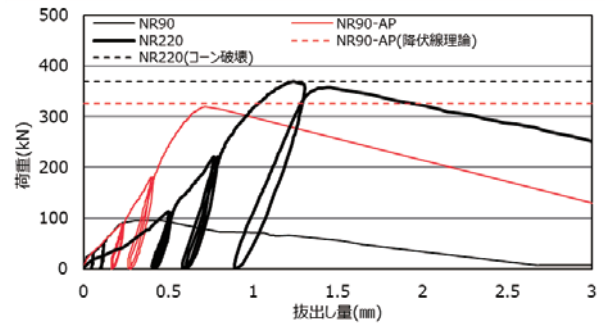


図6 荷重－拔出し量関係の比較

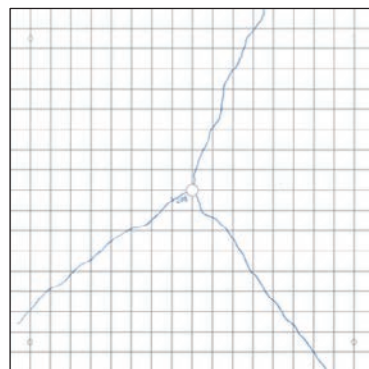


図7 最終ひび割れ状況(上:NR90-AP, 下:NR220)

(3) 実験値と計算値の比較

図6中には計算結果による最大値も併記している。一体のモデルNR220は図7からもコーン破壊と考えられることからその耐力式による計算結果を示しており、試験結果と良く整合していることがわかる。

一方、打継を有するNR90-APはひび割れ発生状況から平板の降伏線理論を用いて引張耐力の算定を行った。解析は4点を単純支持された正方形平板中心に集中荷重を作用させたときに対角線上にひび割れが生じ崩壊に至るモデルを仮定した。崩壊荷重は集中荷重 P による外部仕事($W_o = P$)と、単純支持された平板の回転角と降伏線の単位長さ当たりの降伏抵抗モーメント(m_o)に基づく内部仕事

($W_i = 8m_0$)が等しいとして算定した。 m_0 は曲げひび割れモーメント M_c とPCa部長さ L_p を元に式(1)で求められる。

$$m_0 = M_c / L_p \quad (1)$$

ここに、 $M_c = \sigma_{fb} \cdot Z_t$ 、 $\sigma_{fb} = 7.2(\sigma_B/60)^{2/3}$ である。また、断面係数 Z_t はアンカー材の埋込み長さ(PCa部+現場打ち部)とPCa部長さ L_p を元に算定され、 σ_B はコンクリート強度である。

算定結果を図6に示しているが、試験結果と良く整合している。

(4) 打継部を貫通しているアンカー材の引張破壊

図8に抜き出し量とモールドゲージひずみの関係を示す。ひずみの正は引張、負は圧縮を示す。図中にはひび割れ発生および最大耐力時の抜き出し量も点線で示す。図より、アンカー材芯から340mm離れたMG-4には引張の影響はほとんど無く、MG-2とMG-3は途中から引張力が生じ、最もアンカー材に近接しているMG-1には常時現場打ち部からPCa部へ押し付けられる力が作用しているのがわかる。引張抵抗の耐力上昇は、この応力に対して界面の接着の効果でPCa部が抵抗機構として働いたことによると考えられる。この状況は写真2に示すようにアンカー材近傍の破断面がコーン状にPCa部に接着していることからわかる。また、抜き出しが進みPCa部に曲げ破壊が発生したことで界面の接着が切れ、PCa部と現場打ち部の剥離が生じたことが図から確認できる。この剥離によりアンカー材の引張に対する抵抗要素が無くなったため耐力が低下したと考えられる。

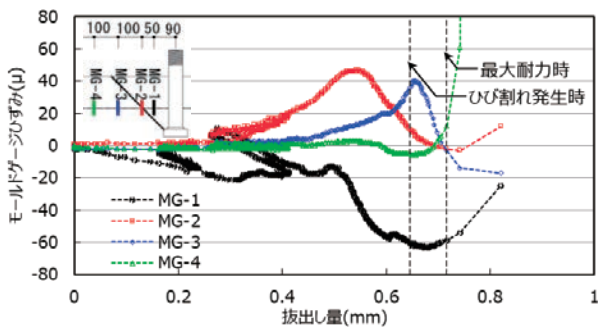


図8 抜き出し量と打継面のひずみ関係



写真2 打継面アンカー材付近の破断状況

§3. 側方破壊に関する検討

3.1 実験概要

(1) 試験体および加力状況

図9に試験体および加力状況を示す⁶⁾。アンカー材は試験体縁から300mmの位置に設置した。アンカー材に曲げがかからないように、試験体上面に加力治具を敷設して、その加力治具をジャッキで引っ張ることで加力する形式とした。加力の際に治具の下面とコンクリート立上部上面の摩擦が発生しないように、間にテフロンシートを挟んだ。また、試験体が加力の際に浮き上がらないように試験体下部を上部および両側から固定した。表2に試験体一覧を示す。アンカー材は引張試験と同じものを用いた。試験体は4体とし、パラメータはアンカー材の埋込み深さ l_e 、打継面の有無である。PCa部分の厚さは130mmとし、コンクリートの設計基準強度は $F_c=30\text{N/mm}^2$ とした。最大耐力計算値は打継が有る場合、コンクリート圧縮強度試験結果のPCa部と現場打ち部の小さい方の値を採用した。加力は予め想定した最大荷重を基準として、片振幅の漸増繰返し载荷を行った。

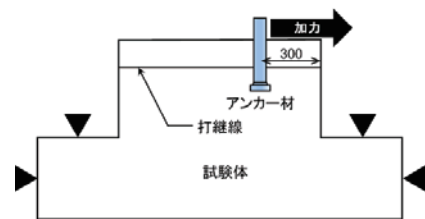


図9 試験体および加力状況

表2 試験体一覧

試験体名	SR220	SR90-AP	SR200	SR70-AP
打継の有無	無	有	無	有
PCa部(mm)/躯体(mm)	-/220	130/90	-/200	130/70
圧縮試験結果(N/mm ²)	30.9	33.7	30.9	33.7

(2) 計測

加力点の水平変位はバネ式変位計を用いて計測し、コンクリート部に対する相対水平変位から、加力治具とアンカー材のクリアランスを差し引いた値を、アンカー材の水平とした。

3.2 実験結果

(1) せん断力-水平変位関係

図10に各試験体の水平変位-せん断力関係を示す。図より、アンカー材長さに拘わらず打継が有る場合の方が大きな耐力を有していることがわかる。

(2) 側方破壊耐力式

ここでは、側方破壊耐力を CCD 式⁷⁾によって算出した。

比較のため、指針式⁴⁾による値も計算した。以下に各評価式について説明する。各評価式は細径($l=15d$ 程度)のアンカーボルトについて定式化されたものであるが、本報ではこれらをアンカー材($l=3.5d$ 程度)への適用を試みる。各評価式における概念図を図 11 に示す。CCD 式は浅田ら⁷⁾によって提示された側方破壊耐力式である。CCD 式では 35° に広がる破壊面を想定し、側方側の有効投影面積 A_c を用いて縁あき距離の影響を評価している。

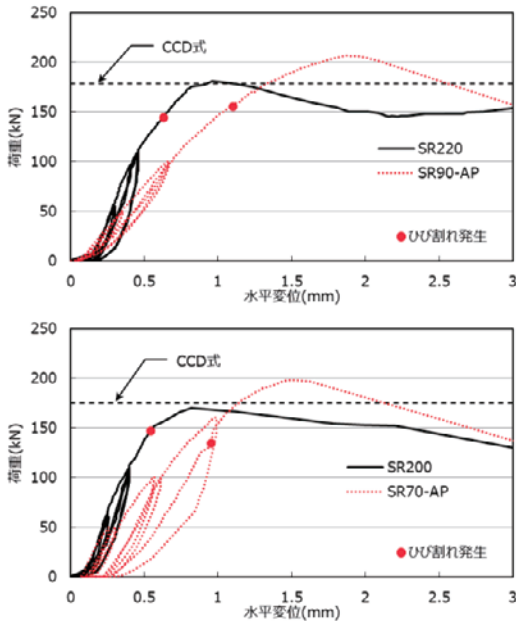


図10 各試験体のせん断力-水平変位関係 (上:アンカー材首下長さ220mm、下:200mm)

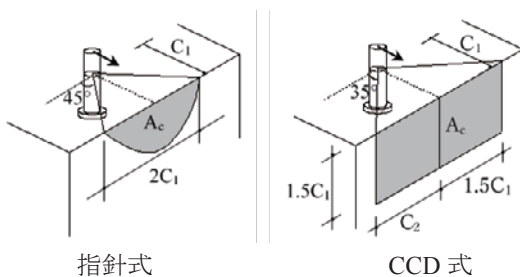


図11 各評価式の概念図

CCD 式は式(2)で表せる。

$$P_u = 3.0 \cdot d^\alpha \cdot l_e^\beta \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot C_1^{1.5} \quad (2)$$

ここに、 $\alpha = 0.1(l/C_1)^{0.5}$ 、 $\beta = 0.1(d/C_1)^{0.2}$ である。一方、指針式は水平方向のコーン破壊耐力評価に基づく。

図 10 に CCD 式による評価結果も併記している。打継無しの場合、試験結果は CCD 式と同程度か若干下回る結果となっている。打継有りの場合は試験結果が上回る結果となっている。表 3 に実験および CCD 式、指針式で

の最大側方破壊耐力値を示す。指針式は実験値を大きく上回る結果となっている。

表3 実験値と計算値の比較

試験体名	実験値 (kN)	指針式 (kN)	CCD式 (kN)	実験値/指針式	実験値/CCD式
SR220	181	242	179	0.75	1.01
SR90-AP	207	242	179	0.86	1.16
SR200	170	242	175	0.70	0.97
SR70-AP	198	242	175	0.82	1.13

(3) 破壊状況

本実験の試験体はいずれも側方破壊に至った。写真 3 に SR90-AP 試験体の破壊状況を示す。試験体上面のひび割れは、アンカー材から加力方向前方に発生していることがわかる。これは、CCD 式で想定するものより若干広がり角度が浅い結果となっているものの概ね整合している。試験体横面では打継面に沿ってひび割れが発生しており、打継面での滑りが発生したと考えられる。図 10 で打継有りが無しに比べて立ち上がりが緩やかであることから、比較的小さい荷重において滑りが生じ、打継無しのように脆性的に破壊することなく、変形に伴い打継面の摩擦が寄与して耐力上昇に至ったものと考えられる。



写真3 SR90-APの破壊状況(上:横面、下:上面)

(4) アンカー材の応力、変位

各試験体におけるひび割れ発生時までの挙動とその耐力を検討する。

解析はアンカー材を有限長の杭とみなし、弾性支承梁の方程式⁸⁾の一般解に、杭頭モーメント $M=0$ 、杭頭せん断力 $Q=P$ (載荷荷重)、杭先端モーメント $M_b=0$ 、杭先端変位 $y_b=0$ との境界条件を与えて解いた。一般解に含まれるへりあき部分の反力係数を求めるのに、アンカー材から 45° で広がる見付面積にアンカー材の長さに乗じた部分(図12)のばね定数 K_c を、コンクリートヤング係数 E_c を用いて $K_c = E_c A / D$ により求めた。反力係数 k_h は $k_h = K_c / A$ により求めた。

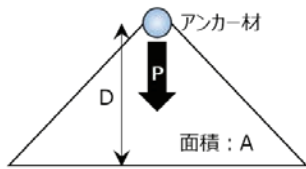


図12 へりあき部の反力係数算定の概念図

図13にコンクリートひび割れ発生時の荷重に対するアンカー材の曲げモーメントと変位の計算値と計測値を重ね書きしたものを示す。

上が打継を有するSR90-APで、下が打継無しのSR220である。モーメントについてみると、SR90-APは概ね整合しているが、SR220は計算値が計測値より大きな値となっている。変位についてみると、SR90-APは計算値が計測値よりかなり小さな値となっているが、SR220は計算値が若干大きめの値となっている。

ここで弾性支承式が一様物性値での評価式であることを考えてSR220の結果に着目して考察する。計算結果と計測結果の差は例えば、アンカー材下端の曲げモーメントを0としているが、定着板の抵抗によりモーメントが発生していると考えられ、境界条件の設定に検討の余地があると考えられる。変位の値についても同様である。一方SR90-APの変位において計測値が計算値を大きく上回っているのは、図10にみられるように、荷重が小さい段階から発生していると考えられる打継面のずれが要因と考えられる。

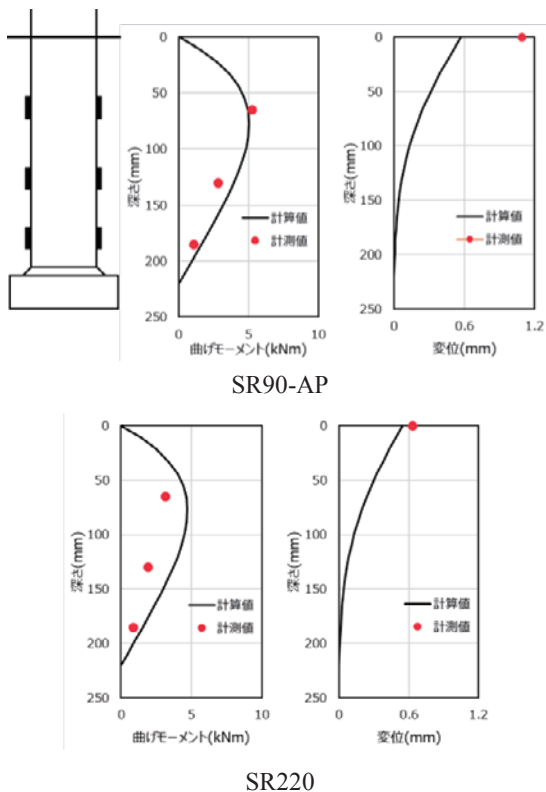


図13 アンカー材の曲げモーメントと変位

§4. おわりに

打継部を有するコンクリートに埋め込まれたアンカー材の引張およびせん断性能について検討した。結果を示す。

1) 引張について

- PCa部コンクリート打設後の刷毛引きによる目荒らしを十分行うことで、現場打ち部との界面の接着の効果により、引張耐力が大きく向上することがわかった。
- 破壊にいたるひび割れ発生状況から降伏線理論により耐力評価を行った結果、実験値をよく模擬できた。

2) せん断について

- 打継を有する試験体は小荷重時から打継部でずれが発生していると考えられ、そのずれにより変形性能が発揮されたと思われる耐力上昇がみられた。
- 終局時の側方破壊耐力について、CCD式によって良好に評価することができた。
- 弾性支承式によるアンカー材の評価に関しては境界条件などの検討が必要である。

参考文献

- 1) 中川太郎,三浦靖史,佐々木仁:打継部を有するコンクリートに埋め込まれたアンカー材の引抜き抵抗に関する実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.47-48,2019年9月
- 2) 三浦靖史,中川太郎,佐々木仁:打継を有する免震上部基礎の構造性能に関する実験的研究 その1 側方破壊に関する検討日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.125-126,2020年9月
- 3) 岡村雄樹,舌間孝一郎,足立一郎:ウォータージェット技術による新旧コンクリートの一体化処理に関する検討,コンクリート工学年次論文集 Vol.25,No.1 pp.1499-1504,2003年
- 4) 各種合成構造設計指針・同解説,日本建築学会,2016年
- 5) 百瀬光広,丸山久一,清水敬二,橋本親典:アンダーカット型アンカーボルトの性状に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集 12-2 pp.801-806,1990年
- 6) 中沢好夫,長谷川昭美,木下雅敬,本間宏二:錨付基礎ボルトの静的破壊機構に関する実験的研究,第8回コンクリート工学年次講演会論文集 pp.625-628,1986年
- 7) 浅田勇人,吉敷祥一,山田哲:鉄筋コンクリート基礎立上部に設置した引張プレース付露出型柱脚のせん断抵抗能力,日本建築学会構造系論文集,第76巻,第665号,1347-1356,2011年11月
- 8) K. Hayasi : Theorie des Tragers auf elastischer Unterlage, Springer (Kokusairiko-Kenkyusha), 1921

ひとこと

安全をしっかり担保しつつ、施工の省力化を図ることが建設業の大きな課題となっています。本開発はそれを念頭に実施しました。



中川 太郎