

平成 2 6 年 6 月 2 3 日現在

機関番号： 1 2 7 0 1

研究種目： 基盤研究(C)

研究期間： 2011 ～ 2013

課題番号： 2 3 5 6 0 5 4 9

研究課題名（和文）多層構造スマートアンカーの開発

研究課題名（英文）Development of Multi-layer Smart Anchor

研究代表者

椿 龍哉（Tsubaki, Tatsuya）

横浜国立大学・都市イノベーション研究院・教授

研究者番号： 4 0 1 3 4 9 0 2

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,100,000 円、（間接経費） 1,230,000 円

研究成果の概要（和文）：耐震補強後の橋脚の地震時挙動を最適化するような多層構造のスマートアンカーの開発を目的として、アンカーの構造とその材料特性を明らかにした。このアンカーの機能は、構造物の残留変形とアンカー周辺の損傷を小さくすることである。これらの機能は、アンカーとなる鋼棒に多層の充填層を接着させた構造とすることで達成する方法を検討した。その結果、充填層の材料特性は、外側の層の剛性と強度を相対的に小さくすることが最適な挙動を示すことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to develop a multi-layer smart anchor to optimize the seismic behavior of bridge piers after seismic strengthening. The structure and material properties of such an anchor has been clarified. The function of this anchor is to minimize the residual deformation of the structure and the damage of the surrounding material. A method where these functions are achieved by an anchor structure with an anchor steel bar having a multi-layer infill material attached was examined. As a result, it has been clear that an anchor with multi-layer infill properties having external layers with smaller strength and stiffness gives the optimum behavior.

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学、土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード： アンカー 多層構造 引抜け挙動 耐震補強

1. 研究開始当初の背景

橋脚の耐震補強は、兵庫県南部地震以降、RC 巻立て工法を用いて行われているものがある。RC 巻立て工法には、RC 巻立て部の軸方向鉄筋を、エポキシ樹脂を用いた「あと施工アンカー」としてフーチング部に埋め込む工法がある。この工法は、橋脚の曲げ耐力が向上し、地震後の残留変位を小さくできるという利点を有し広く用いられている。しかし、あと施工アンカーを用いた構造物への配置間隔や荷重作用条件が及ぼす影響を検討した研究は少ない。このような背景のもと、本研究では、あと施工アンカーの繰返し荷重作用下の引抜け特性について、アンカー径、埋め込み長、複数アンカーによる群効果を実験的に調べ、アンカー筋の特性がそれらの要因の影響を受け、さらにそのアンカー筋を用いて RC 巻立て工法で補強した橋脚の全体挙動に影響を及ぼすことを報告していた。

2. 研究の目的

上述の背景のもと、本研究では、アンカーの力学特性を最適化した多層構造スマートアンカーを検討し、橋脚の地震時における挙動を制御する手法等への応用を目的とする。RC 橋脚の耐震補強に用いられる RC 巻立て工法を主な対象とし、アンカーの力学特性は、構造物の残留変位を小さくし、橋脚の基礎構造のアンカー周辺の損傷を小規模にするように最適化する。

3. 研究の方法

(1) 多層構造の解析的検討

RC 巻立て工法におけるアンカーとその周辺の関係を図 1 に示す。アンカーとなる軸方向鉄筋はフーチング内で定着される。アンカー周辺のフーチング部の損傷を限定的にし、アンカーとしての耐力を実用的な範囲で保持しつつ、地震力の作用後の残留変位を小さくすることをスマートアンカーの機能とする。この 2 つの機能を実現するために、多層構造の充填層をもつアンカー・充填層系を以下の方法で検討する。

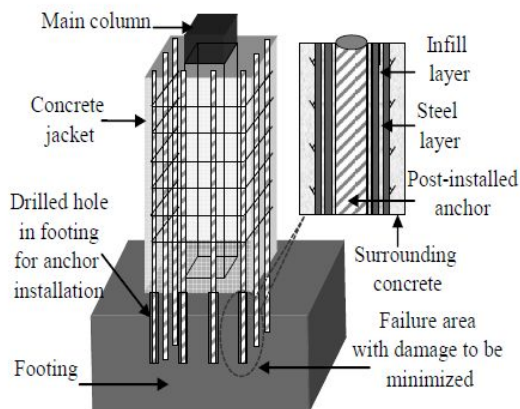


図 1 RC 巻立て工法とアンカー

アンカー筋の周辺を多層の充填層で囲む形が多層構造アンカー・充填層系の概念図を図 2 に示す。

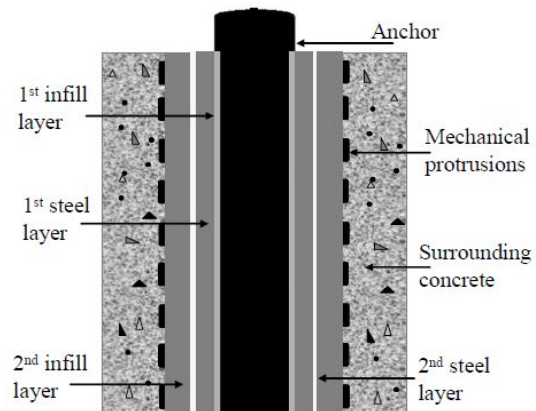


図 2 多層構造アンカー・充填層系の概念図

多層の充填層間、およびアンカー筋と充填層の間の付着は、図 3 に示すような特性があるとする。

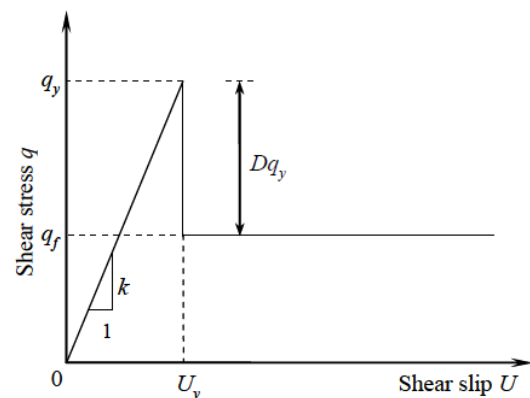


図 3 界面の力学特性モデル

付着応力は付着強度に達するまでは線形に変化し、付着強度に達した後は付着強度以下の一定の応力を示す。図 3 に示す特性は、アンカーと充填層を模擬した載荷実験により、その妥当性を確認した。

このモデルを用いることにより、アンカー・充填層系に含まれる界面での付着破壊の進展を詳細に検討することが可能である。

アンカー筋と充填層の界面、および充填層間の界面の付着破壊は、アンカー上面側から発生し、アンカー下面まで達すると界面の付着応力が一定となる。付着強度に達した後の一定の付着応力は、界面の粗さ等によるせん断抵抗を表す。

このようなアンカー・充填層系のモデルに対して、力のつり合いから求められる微分方程式の解を求めた。この解を用いて、アンカーの剛性、各界面の付着特性、各充填層の剛

性等をパラメータとして、正規化したアンカーの引抜け変位とアンカー周辺の損傷の和を目的関数とし、目的関数を最小とするパラメータの組合せを求めた。アンカーの引抜け変位とアンカー周辺の損傷に対する重み係数は、等しいとしている。

(2) 充填層の構造と材料特性の最適化

アンカー・充填層系とその周辺のコンクリートを合わせたモデルを考え、種々の破壊様式に対するアンカー上端における引張力と引抜け変位の解を求めた。図4は充填層が1層の場合で周辺のコンクリートがコーン破壊した直後の状態に対するモデル、図5、6は各強度条件における、充填層が2層の場合で周辺のコンクリートがコーン破壊した直後の状態に対するモデルである。これらのモデルに加えて、各々のコーン破壊直前の状況に対するモデルも検討した。

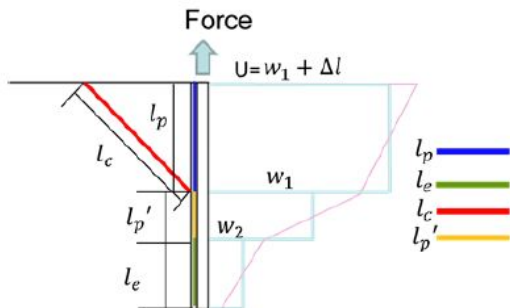


図4 1層構造（コーン破壊直後）

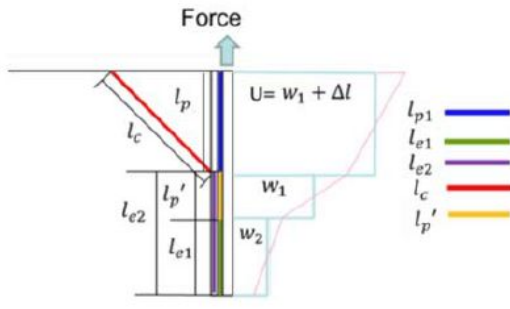


図5 2層構造（コーン破壊直後） $\tau_2 > \tau_1$

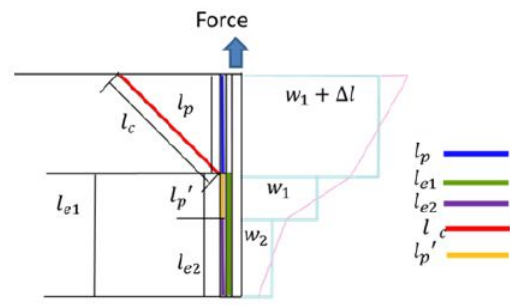


図6 2層構造（コーン破壊直後） $\tau_1 > \tau_2$

これらの解を用いて、アンカーの上端の引

抜け変位、コーン破壊部の面積、および界面の付着剥離部の面積を正規化した和を目的関数とし、各種材料定数をパラメータとして目的関数を最小とするパラメータの組合せを最適解として求めた。アンカーの上端の引抜け変位、コーン破壊部の面積、および界面の付着剥離部の面積を正規化した目的関数の各項の重み係数は表1に示す4通りの組合せを検討した。

表1 目的関数の成分の重み係数の値

目的関数	α_1	α_2	α_3
f_1	1/3	1/3	1/3
f_2	1/2	1/4	1/4
f_3	1/4	1/2	1/4
f_4	1/4	1/4	1/2

4. 研究成果

(1) 多層構造の解析的検討

アンカー・充填層系に含まれる界面における付着破壊を詳細に検討できるモデルを用いた結果、アンカーの引抜け変位とアンカー周辺の損傷の和を最小とする最適解は、表2に示されるような材料定数の組合せに対する目的関数の値を調べることで求めることができた。図7に示すように、最適解はパラメータの組合せ2と3の間にあることがわかる。

表2 パラメータの組合せと目的関数の値

Para. set. no.	$\frac{E_2}{E_1}$	$\frac{q_{y2}}{q_{y1}}$	f_1	f_2	F
1	0.10	0.95	0.742	0.029	0.390
2	0.20	0.90	0.695	0.035	0.365
3	0.30	0.85	0.701	0.069	0.381
4	0.40	0.80	0.725	0.071	0.393
5	0.50	0.75	0.738	0.096	0.418
6	0.60	0.70	0.755	0.156	0.455
7	0.70	0.65	0.930	0.267	0.598
8	0.80	0.60	1.000	1.000	1.000

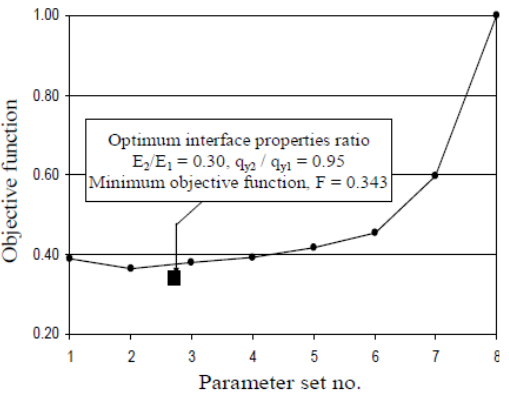


図7 パラメータの組合せと目的関数

この結果から、2 層の充填層の場合、外側の充填層の剛性と強度が小さいほど、アンカーの引抜け変位とアンカー周辺の損傷は小さいことがわかる。

(2) 充填層の構造と材料特性の最適化

アンカー・充填層系と周辺のコンクリートをモデル化して検討した結果は表 3 と図 8 に示される。充填層の剛性と強度を主要な材料パラメータとして最適解を求めた結果、(1)のモデルから得られたものと同じ傾向が得られた。

表 3 各目的関数の最適解

	k_{e1} (MPa)	k_{e2} (MPa)	σ_p (MPa)	σ_{e1} (MPa)	σ_{e2} (MPa)
f_1	197000	3318	9	39	17
f_2	200000	5671	10	40	16
f_3	200000	2794	12	35	21
f_4	200000	2794	12	35	21

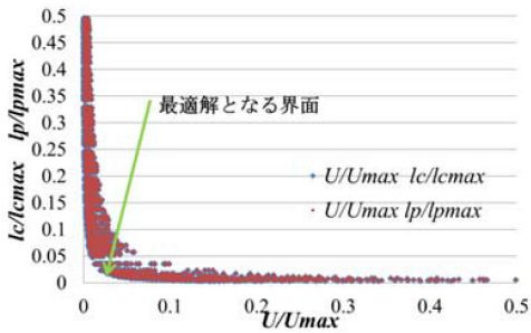


図 8 最適解

以下に本研究によって得られた結論をまとめる。

- (1) 周囲のコンクリートに与える損傷を考慮したアンカー引抜けを表すモデルを導いた。これらのモデルから既往の解析モデルと同じ傾向の最適解が得られた。
- (2) アンカー筋引抜けの際の損傷を抑えるためには、充填層が 2 層構造であるもの、さらにコンクリート側の充填層の強度、剛性がアンカー側の充填層のものよりも小さいものが望ましい。
- (3) アンカーの用途に応じた重み係数ごとの最適界面特性を求めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

高田康平, 榎龍哉: 損傷と変形を抑制するあと施工アンカーの特性, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.36, 6p., 2014.

松田明, 高田康平, 榎龍哉: 繰返し荷重を受けるプラスチック製シースの付着特性のモデル化, コンクリート工学年次論

文集, 査読有, Vol.35, 6p., 2013.

Tsubaki, T., Saleem, M.: Multi-layer shear lag model for post-installed anchor used in retrofit of concrete structures, Proc. of FraMCoS-8, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, 査読有, Vol.8, 6p., 2013.

Saleem, M., Tsubaki, T.: Two-layer simultaneous crack extension model for pull-out behavior of post-installed anchor, J. of Japan Society of Civil Engineers, Ser.E2(Materials and Concrete Structures), 査読有, Vol.68, No.2, pp.106-120, 2012.

Saleem, M., Tsubaki, T.: Two-layer model for pull-out behavior of post-installed anchor, J. of Japan Society of Civil Engineering, Ser.E2(Materials and Concrete Structures), 査読有, Vol.68, No.1, pp.49-62, 2012.

〔学会発表〕(計 2 件)

高田康平, 松田明, 榎龍哉: 繰返し荷重を受けるプラスチック製シースの付着挙動, 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, Vol.22, 6p., 2013.

Tsubaki, T.: Mechanical Properties of Anchor-Infill Assembly for Strengthening of Concrete Structures, Structural Faults and Repair 2012, Edinburgh, Scotland, UK, 6p., 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

榎 龍哉 (TSUBAKI TATSUYA)

横浜国立大学・大学院 都市イノベーション研究院・教授

研究者番号: 40134902

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし