

中間階免震レトロフィットの仮受け工法に関する解析的研究

D1-00994 鈴木 暁

免震レトロフィット 仮受け工法 有限要素法解析

1.はじめに

現在、1995 年の阪神・淡路大震災を踏まえて施行された「建築物の耐震改修の促進に関する法律」に基づき、様々な耐震改修が行われており、その中でも免震レトロフィットが採用されるケースが増えてきている。免震レトロフィット工法で免震層を構築するには、既存の柱・壁を切断し、基礎部、下部構造との切り離す必要があり、それまで柱が伝えていた鉛直軸力や地震や風による水平力を伝達するために仮受けが必要となる。免震層の躯体形状・耐力はその工法に依る所が大きいため、仮受けは免震レトロフィットにおいて重要な位置付けとなる。また比較的規模の大きな建物では、柱一本あたりの軸力は数百トンあるいはそれ以上に及び、大掛かりな仮設や躯体補強が必要となることが多いため、これらをコンパクトに行うことが施工性・経済性の向上には欠かせない。

山梨県庁舎本館では耐震改修として免震レトロフィットが採用されたが、この改修では PC 鋼材のプレストレスによる摩擦力を利用した仮受け工法で免震化している。この仮受け工法は実大試験を行い、その安全性を確認した事が報告されている。(1),(2)しかしながら、その部材内部応力についての詳細については検討の余地がある。

本研究ではその仮受け工法について報告された山梨県庁舎本館の事例(1),(2)に基づき、現在計画が進んでいる静岡県西部浜松医療センターの仮受け機構をモデル化し、有限要素法を用いて解析を行い、その内部応力の状態を明らかにすることが目的となる。

2.解析手法の妥当性確認

2.1 解析概要

仮受け機構のモデル化に先立って、モデルの材料特性、メッシング状況、境界条件などの妥当性を示す必要がある。図 1 は規準書(4)で示されている 2 点対称載荷の場合の仮想ブロック(コンクリート)の横方向引張応力の等応力線を表しているが、これを有限要素法解析ソフト「ANSYS Professional」を用いて再現する。

図 1 に示されているパラメータを表 1 のように設定して三次元ソリッドモデルを作成した。解析法としては要素数を増やす事で精度が増す h-法を用いる。要素モデルは節点座標系 x, y, z 方向の並進 3 自由度を持ち、20 節点で定義される SOLID95 を、材料特性については表 2 の

コンクリートの材料特性を用いた。メッシングは四面体メッシュで要素長さを 50 mm に設定した。要素数は 39748 要素、節点数は 57353 接点である。荷重は耐圧板面全体に圧力 $10(MPa) = (N/mm^2)$ をかける。加圧場所は図 2 に示す。境界条件はモデル底部(図 3)を高さ方向で fix とした。

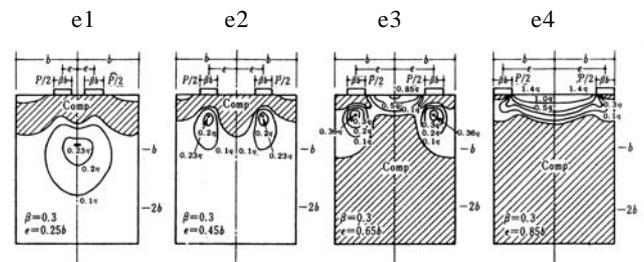


図 1 2 点対称荷重の場合の等応力線図

表 1 ソリッドモデルの寸法等 (β = 0.3)

名称	規準書の符号	寸法
基準値	b	500mm
幅(X 方向)	2b	1000mm
高さ(Y 方向)	2.5b	1250mm
奥行(Z 方向)	b	500mm
耐圧板(正方形)の一辺	β b	150mm
ブロック中心軸から加力点の中心までの距離	e1=0.25b	125mm
	e2=0.45b	225mm
	e3=0.65b	325mm
	e4=0.85b	425mm

表 2 材料特性 (6),(7)

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート (Fc36)	2.59×10^4	0.2
鋼材(SS400)	2.05×10^5	0.3

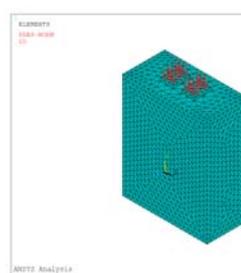


図 2 荷重位置

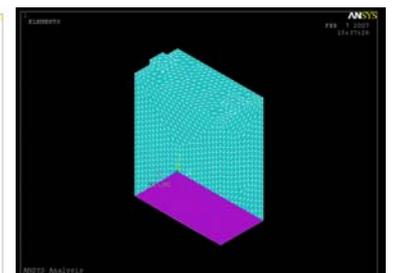


図 3 拘束状況

2.2 解析結果比較

解析結果のコンター図の一部を図5に示す。斜線部分は圧縮を表す。

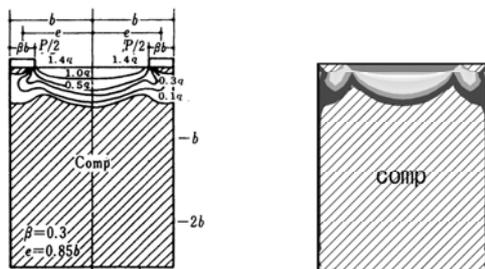


図4 規準書⁽⁴⁾コンター 図5 解析結果コンター

比較すると圧縮と引張において、ほぼ同様の応力分布が確認された。よって、材料特性および要素モデルは妥当であるといえる。

3.解析の概要

3.1 仮受け機構概要

報告⁽¹⁾、⁽²⁾によると、この仮受け工法はPC鋼材のプレストレスにより鋼製ブラケットをRC補強柱に圧着し、圧着面に発生する摩擦力を利用して、柱軸力をブラケットで仮受けするというものである。また柱を貫通するPC鋼材を1方向に配置し、鋼製ブラケットや油圧ジャッキを直交する2面に集約している。図6に詳細を示す。

鋼製ブラケット・PC鋼材を含む柱の形状を見ると免震部材を挿入する切断面を中心として柱頭・柱脚が上下対称形であり、また柱の中心線で対称形をしている事がわかる。また、拘束状況、荷重状況に関しても同じである。今回は解析規模、解析範囲を小さくする為に図6の斜線部分についてモデル化を行った。なお、切断面の境界条件を切断面に直交方向の自由度をfixにすることによって、全体のモデルと同様の条件となる。

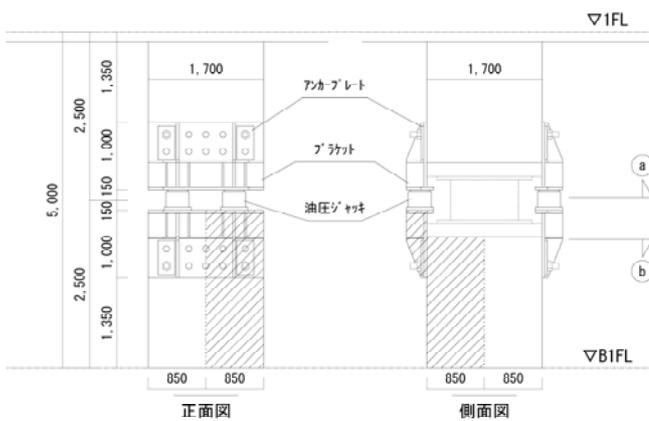


図6 仮受け概要図

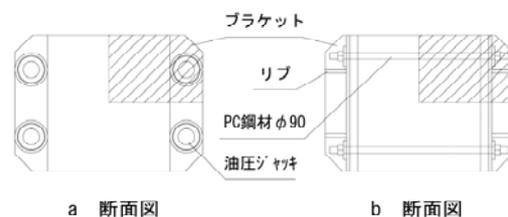


図7 柱仮受け状況・水平断面図

また、今回は下図に示す2ケーブルタイプと4ケーブルタイプについて解析を行った。

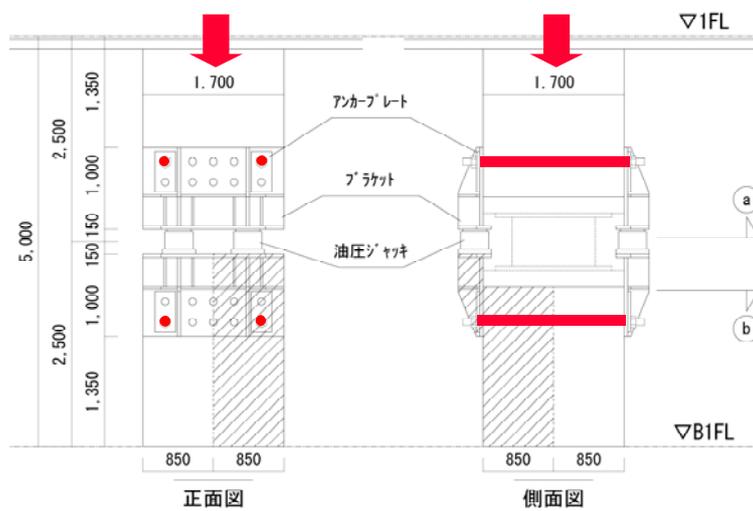


図8 2ケーブルタイプ(以降Aタイプとする)

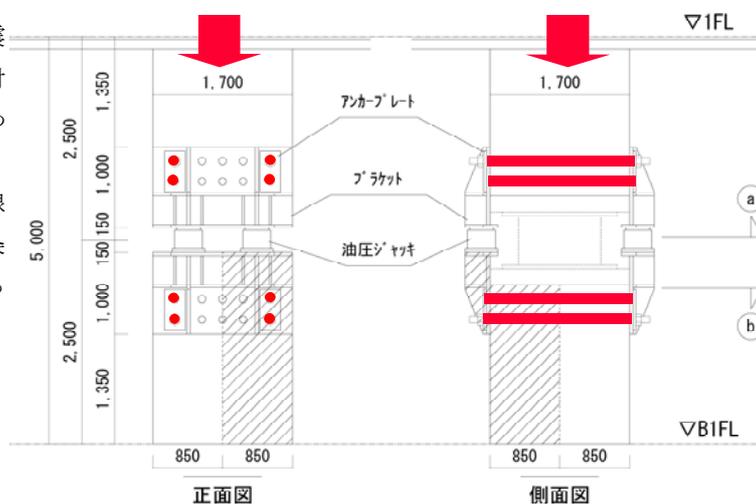


図9 4ケーブルタイプ(以降Bタイプとする)

3.2 ソリッドモデル概要

モデルの概要を図10に示す。図10に示すように柱部分はコンクリート、鋼製ブラケット、油圧ジャッキ、アンカプレート、ナットは鋼材としている。鋼製ブラケットの圧着部分には無収縮モルタルを充填するが、材料特性をコンクリートと同様としたので、モデル化ではコンクリートと一体とした。

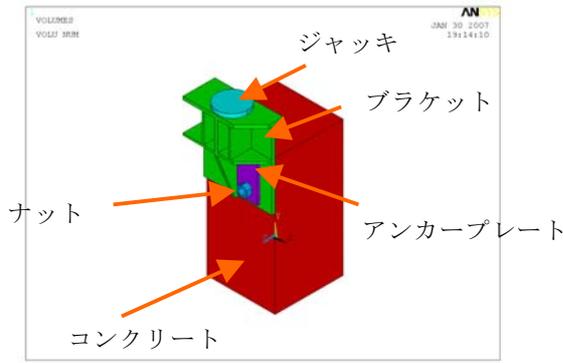


図 10 モデル概要

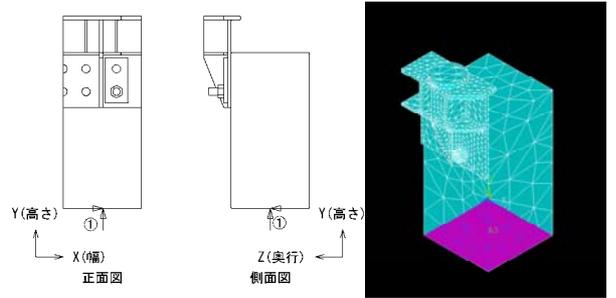


図 12 拘束状況図(下部拘束状況①の面)

3.3 解析入力パラメータ

2章と同様に解析法は h-法を用い、要素タイプは SOLID95 としてモデルを構築した。2章と同様にメッシングは四面体メッシュを使用、メッシュ状況については図 11 に示す。分割要素数は 13736 要素、節点数は 23352 接点である。

また今回はコンクリート部分の応力に着目するため、鋼製ブラケットとアンカープレート、ジャッキ、ナットはブリアン演算の GLUE を行い、結合状態とし、ブラケットとコンクリート部分が接する面については摩擦力無限大で接していると設定した。

材料特性については表 2 の値を用い、荷重は表 4 の値を用いる。荷重位置は図 11 のようにジャッキ部分とボルト部分に加力する。また拘束状況は図 12 に示すようにコンクリートの下部に全自由度 fix、図 13 に示すように鋼製ブラケットの反対側のコンクリート面に PC 鋼材と同方向の自由度を fix、図 14 に側面のコンクリート、面とブラケット面に PC 鋼材と直交方向の自由度を fix とした。

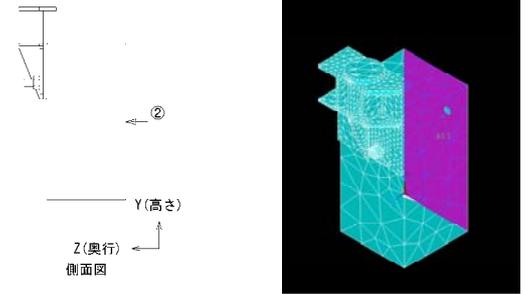


図 13 拘束状況図(裏面拘束状況②の面)

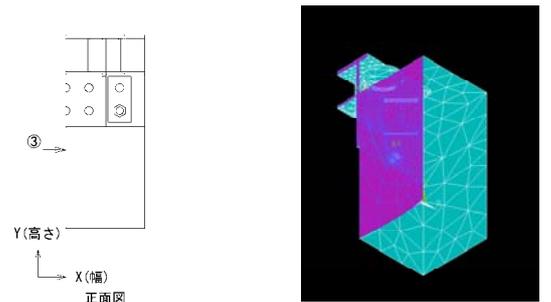


図 14 拘束状況図(側面拘束状況③の面)

表 4 荷重表

	設計荷重
①A タイプジャッキ荷重	725KN (6.39MPa)
①B タイプジャッキ荷重	1949KN (17.18MPa)
②PC 導入力	1319.2KN (213.2MPa)

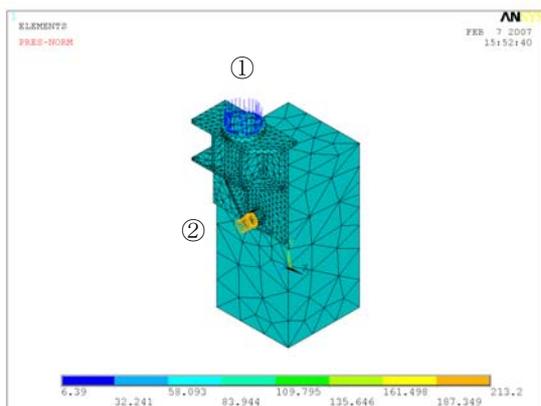


図 11 メッシュ・加圧位置(2ケーブルタイプ)

4. 解析の概要

4.1 コンクリートの許容応力度

表 5 に規準書⁽⁴⁾ に従い、算出したコンクリートの許容応力度を示す。

コンクリートは普通骨材コンクリート $F_c=36$ とする。

表 5 コンクリートの許容応力度

許容支圧応力度(Aタイプ)	$43.2(N/mm^2)$
許容支圧応力度(Bタイプ)	$41.4(N/mm^2)$
許容引張応力度	$3.6(N/mm^2)$

4.2 解析結果および考察

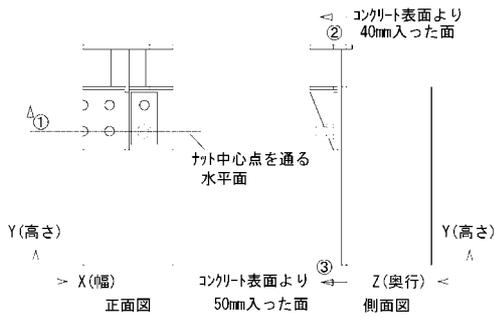


図 15 切断面指定図

図 15 の切断面で切断したコンクリート部分の応力状態を示した解析結果を以下に示す。

切断面①は PC ケーブル方向に水平切断、切断面②はブラケットとコンクリートの接する面より 40mm 入った平面での鉛直断面、切断面③はブラケットとコンクリートの接する面より 50mm での鉛直断面となっている。

下にコンクリート部分の応力状態を表したコンター図を示す。

<主要圧縮応力>図において-は圧縮,+は引張を示す。切断面①の支圧応力分布を示す。

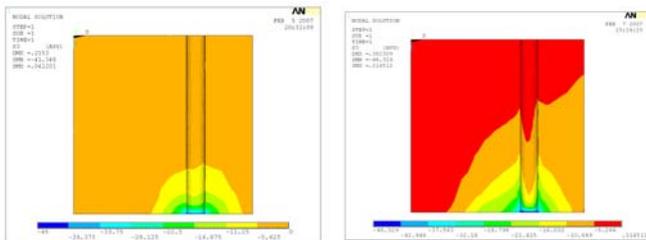


図 16 Aタイプ[®] 応力分布 図 17 Bタイプ[®] 応力分布

Aタイプの最大圧縮応力は $41.346(\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、これは許容支圧応力 $43.2(\text{N}/\text{mm}^2)$ よりも小さい値となっている。よって、支圧応力による局部破壊はおきないことがわかる。しかし、Bタイプは $48.329(\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、許容支圧応力よりも大きくなってしまっている。この状態では支圧応力による局部破壊が起ってしまう。

ここでコンクリート強度を強めることを考えて許容支圧応力度を計算すると、Fc42の時の許容支圧応力度が $48.329(\text{N}/\text{mm}^2)$ であったので、Fc42以上のコンクリート強度であれば、この支圧応力度に耐えられるといえる。

<主要引張応力>図において-は圧縮,+は引張を示す。切断面②の引張応力度分布を示す。

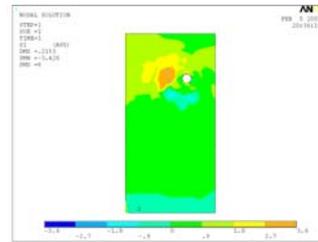


図 18 Aタイプ[®] 応力分布

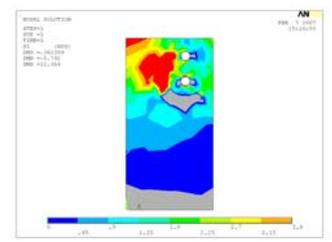


図 19 Bタイプ[®] 応力分布

最大圧縮応力はコンクリートと表面ブラケットの表面部分に発生しており、Aタイプでは $8(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、Bタイプでは $12.364(\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、共に許容引張応力 $3.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ を大きく上回ってしまっている。ただし、実際の施工ではブラケットとコンクリートとの圧着面には無収縮モルタルが 40mm 充填されている。つまり、実際のコンクリート躯体はそれより奥まった位置にあることになる。

その実際のコンクリート面をあらわしているのが、図 18、19になる。この時、Aタイプではほぼ許容引張応力度を満たしており健全といえるが、Bタイプでは鉄筋の補強配筋が不可欠となる。

5. まとめと今後の研究方針

FEM 解析により変形や内部応力分布が明らかにすることができた。今後の研究方針としてはブラケットとコンクリート面の摩擦抵抗モデルの検討、終局メカニズムの確認などについて検討する。

謝辞

本論文を作成するにあたり、貴重な時間を割いてご指導・ご助言いただきました、久田嘉章教授、久田研究室博士課程の鱒沢さんにはこの場をお借りいたしまして、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山田 高史、鱒沢 曜：中間階免震レトロフィットにおける仮受け工法の開発 その1 工法および実大試験概要（日本建築学会大会学術講演梗概集 2003.9）
- 2) 鱒沢 曜：中間階免震レトロフィットにおける仮受け工法の開発 その2 実施工概要（日本建築学会大会学術講演梗概集 2003.9）
- 3) 社団法人 日本免震構造協会：免震構造入門 第五版（2000.9）
- 4) 社団法人 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説 第四版（2002.5）
- 5) 戸川隼人：有限要素法の起訴と応用シリーズ1 有限要素法概論（培風館）
- 6) 社団法人 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- 1999 第二版（2000.4）
- 7) 社団法人 日本建築学会：鋼構造計算規準 第四版（2005.2）
- 8) 社団法人 日本建築構造技術者協会：構造レトロフィット 特殊耐震・免震・制震改修の事例 第一版（2001.6）