

# 山留め鋼材とRC壁を合成した地下外壁の研究 (その1)

## — 地下外壁と基礎スラブの接合部の応力について —

三浦 正悟\* 沼上 清\*

**要約:** 山留め鋼材と地下 RC 壁の一部を頭付スタッドで一体化する工法は、地下階高が大きい建物の地下工事において、山留めの変形増加を抑制する効果や本設地下壁の壁厚・配筋量などを低減する効果があり、数多くの施工実績を重ねてきている。本研究では、本設構造の地下壁として設計・施工された合成地下 RC 壁 (以下「合成壁」と称す) について、躯体工事のひずみ計測を行い、切梁解体や地下水の揚水停止による応力変化を検討した。その結果、軟弱地盤に施工された合成壁は、地下躯体の構築過程において仮設工事による応力履歴の影響を大きく受けること、および、合成壁下端に発生する曲げモーメントは、スタッドを介して高剛性な基礎スラブへ伝達されることが明らかとなった。

**キーワード:** 合成地下 RC 壁, スタッド, 切梁解体, ひび割れモーメント, ひずみ計測, 接合部, 長期計測

- 目次:**
1. 研究目的
  2. 工事・山留め・計測概要
  3. 切梁解体時の計測結果
  4. 合成壁の切梁解体時モデルおよび補強検討
  5. 切梁解体時の合成壁・基礎スラブ接合部挙動
  6. 上部躯体構築時の計測結果
  7. 上部躯体構築時の合成壁・基礎スラブ接合部挙動
  8. 結論

### 1. 研究目的

筆者らは、地下階高が大きい建物の工事において、山留め鋼材と鉄筋コンクリート(RC)地下壁の一部を頭付スタッドで一体化し、その後に支保工を解体する山留め補強の実績を重ねてきた<sup>1)</sup>。これらの工事における計測管理によれば、合成構造となる地下 RC 壁は、山留め壁の応力負担材として側圧に抵抗し、その変形増加を抑制することが明らかとなっている<sup>2)3)</sup>。

本研究では、軟弱地盤の高層建物において本設構造の地下外壁として設計・施工された合成地下 RC 壁 (以下「合成壁」と称す) を対象に、地下躯体から上部躯体の構築過程にわたる合成壁と基礎スラブ接合部のひずみ計測を行い、山留め支保工 (切梁) の解体や地下水の揚水停止など、工事仮設的な要素が合成壁や床スラブ接合部の応力にどのような影響を及ぼすのか明らかにした。

### 2. 工事・山留め・計測概要

#### 2.1 工事概要

合成壁の計測対象工事は、図 1 に示す様に南北 24.7m × 東西 22m の平面形状を有する地上 19 階、地下 1 階の SRC 造共同住宅新築工事である。建設地は東京低地と呼ばれる沖積低地であり、その地層構成としては、図 2 に示す様に表層の盛土下に約 20m の軟弱な沖積粘性土層が堆積し、それ以深に洪積層の砂・粘土・砂礫が互層状態で堆積している。なお、地下水位としては、無水掘りに

よるボーリング調査で GL-1.65m に自然水位を確認している。

建物基礎は、GL-41m の洪積細砂層を杭先端とする場所打ち鋼管コンクリート杭で支持される構造であり、地下水位が浅いため、1.5m 厚の基礎マットスラブによって基礎底盤の水圧に抵抗する基礎形式となっている。

#### 2.2 山留め概要

階高が約 8.5m の地下 1 階躯体構築に必要な山留め材として、約 10m の根切り深さに対し、ソイルセメント柱列壁工法による山留め壁 (H400×200×8×13@450、L=22m) と 2 段の水平切梁が計画された (図 2)。

本地下工事では、地下水位が浅く、かつ軟弱粘性土層を対象とした根切り工事となるため、地下施工時および建物竣工後の側圧に合理的に抵抗できる合成壁を採用した。なお、合成壁の設計は、合成壁と基礎マットスラブ

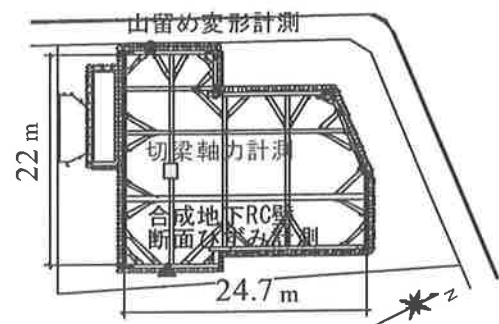


図 1 山留め平面・計測位置

\* 建築エンジニアリング部

を一体化した2次元フレーム解析モデルにより、設計用断面応力を算定し、各種合成構造設計指針<sup>4)</sup>に準拠した方法で合成壁の断面設計を行った。

### 2.3 計測概要

地下躯体の施工過程における合成壁の応力履歴と合成壁・基礎スラブ版間の応力伝達機構を明らかにする目的で、図3に示す各位置において、ひずみゲージ、鉄筋計、熱電対を用いて、合成壁断面およびスタッドのひずみ・温度を計測した。

なお、スタッドのひずみゲージは、掘削床付け完了後、山留め鋼材にスタッドを溶接後、貼付した。また鉄筋計は、地下壁の配筋が完了した状態で主筋に沿わせて設置した。

ひずみ計測は、地下の2段切梁解体直前から上部躯体完了(19F立上り・屋上コンクリート打設)まで行った。

また、地下工事の安全管理として、山留め変形、切梁軸力などを計測した。

## 3. 切梁解体時の計測結果

### 3.1 合成壁断面のひずみ

図4には、地下躯体工事期間中の2段切梁解体前を初期値とした合成壁ひずみの経時変化を示した。2段切梁の解体により、合成壁を構成する山留め鋼材には引張りひずみが発生し、RC壁には主に圧縮ひずみが発生している。また、1段切梁の解体時にもこれらのひずみ量は若干増加し、その後、安定した状態を保っている。すなわち、各段切梁の解体によって、合成壁には累加的に曲げモーメントが発生し、その累加ひずみが過大になると引張り領域のコンクリートにひび割れを生じる可能性があることを示している。

本工事では、山留めの変形計測とこの合成壁のひずみ計測の結果、1段切梁の解体前に盛替え切梁を架設し、合成壁の最大発生モーメント(基礎スラブ接合位置)をひび割れモーメント以下に抑制する対策を施した。

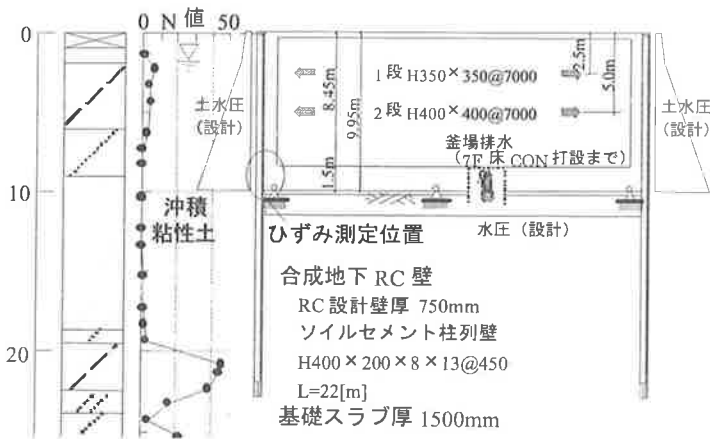


図2 地盤構成・施工断面

### 3.2 頭付スタッドひずみ(合成壁・基礎スラブ接合部)

図5(a)(b)には、地下1階床下の基礎マットスラブ内に打設された頭付スタッドの曲げひずみと軸ひずみの各経時変化を示した。

頭付スタッドは、合成壁・基礎スラブ接合部において、主に山留め鋼材とRC壁間のせん断力を伝達する機能を有している。図3に示す位置で計測されたスタッドの曲げひずみ図5(a)は、2段切梁の解体によって全てのスタッド下面が引張りひずみとなるようなせん断力を伝達していることを示している。この傾向は、1段切梁の解体時にも認められ、これらの結果、基礎スラブ内の頭付スタッドは、合成壁内の山留め鋼材が引張り応力となるような曲げモーメントを受けた場合、山留め鋼材が上方へ引抜かれる力に抵抗することを示している。なお、この抵抗力は、基礎スラブの上下端に近い位置よりも断面の中央付近で大きい。

一方、頭付スタッドの軸ひずみ図5(b)は、2段切梁の解体によって、全てのスタッドが引張りひずみの状態となっている。ただし、この引張りひずみは、切梁解体後にも漸増し、その傾向は、基礎スラブの深い深度に打設したスタッドほど大きい。

## 4. 合成壁の切梁解体時モデルおよび補強検討

### 4.1 切梁解体時モデル

一般的な順打ち工法における合成壁は、最終根切り完了後にスタッドを山留め鋼材に順次溶接し、鉄筋・型枠工事後にコンクリートを打設して構築する。山留め鋼材は、根切り工事の過程においても応力履歴を受けるが、合成壁のコンクリートが最初に応力履歴を受けるのは、上方に位置する切梁または地盤アンカーを解体する時である。このため、合成壁の中立軸がコンクリート断面内

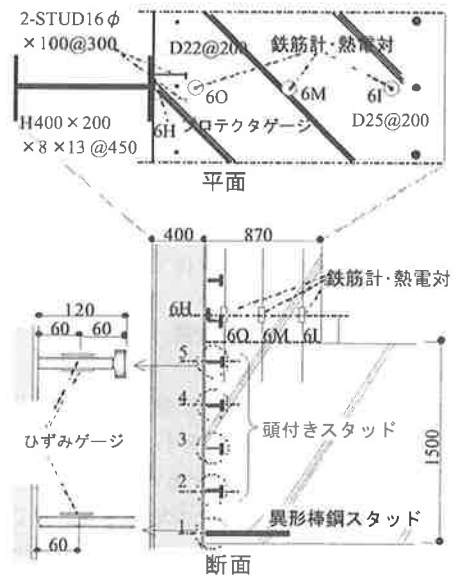


図3 合成壁・スタッドひずみ計測方法

にある場合には、鋼材側（引張り領域）のコンクリートに曲げひび割れを生じる可能性がある。

筆者らは、切梁解体時の山留め補強として合成壁を採用する場合、根切り開始時から山留め変形や切梁軸力を計測し、最終床付け後の各段切梁の実測軸力から合成壁の増加モーメントや増加変形量を算定し、合成壁に曲げひび割れや過大な変形を生じない管理方法を提案・実施してきた<sup>1)2)</sup>。

本工事では、基礎スラブが耐水圧盤の機能を有するマットスラブであるため、図6に示すような山留め壁・合成壁・基礎スラブの一体2次元フレームモデルにより、切梁解体時の挙動を評価することにした。なお、同図中には、最終根切り時の実測山留め変形形状を示した。

#### 4.2 切梁解体時の補強検討

当初の山留め計画では、2段切梁は、1段切梁を残して地下1階床レベルから2m高の立上げ壁を合成壁とした状態で解体し、また、1段切梁は、地下1階床レベルから4.75m高の立上げ壁を合成壁とした状態で解体する計画であった。しかし、図6に示す様に、山留めの実測最大変形量が約45mmと過大であり、計画当初に想定した山留め側圧よりも過大な側圧が作用していることが予想された。そこで、各段切梁の解体は、綿密な予測計算に基づく補強対策のもとに行う方針とした。

まず、2段切梁の解体にあたり、合成壁コンクリート部の実測厚さ(870mm)と切梁解体当日のコンクリート発現強度(24.1N/mm<sup>2</sup>)から合成壁の曲げ剛性(EI=1.23×10<sup>6</sup>kN・m<sup>2</sup>)とひび割れモーメント(Ma=439kN・m)を再評価した。

これらの合成壁断面性能を図6に示す計算モデルに採用し、2段および1段の各切梁解体に伴う増加曲げモーメントを計算した結果、図7に示す分布となることが確認された。特に1段切梁の解体時には、立上げ合成壁だけでは最大でMe=345kN・mの増加曲げモー

メントが発生し、合成壁のひび割れモーメントMaを超えてしまうこと[270(2段解体)+345(1段解体)=615>439(ひび割れモーメント)]が判明した。そこで、1段切梁の解体前には打設済みの地下外壁に盛替え切梁を架設し、1段切梁の解体終了後も1階床スラブの打設

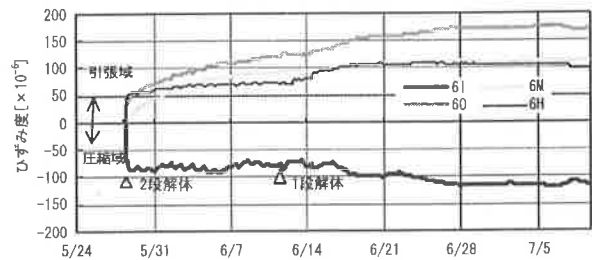


図4 合成壁断面ひずみ経時変化

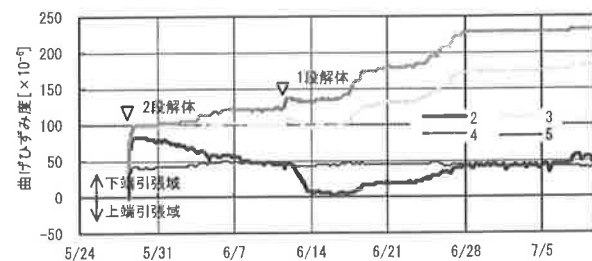


図5(a) 頭付きスタッド曲げひずみ経時変化

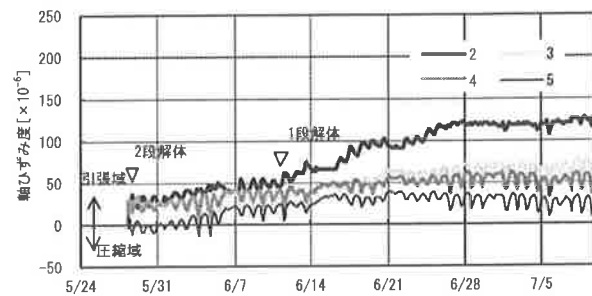


図5(b) 頭付きスタッド軸ひずみ経時変化

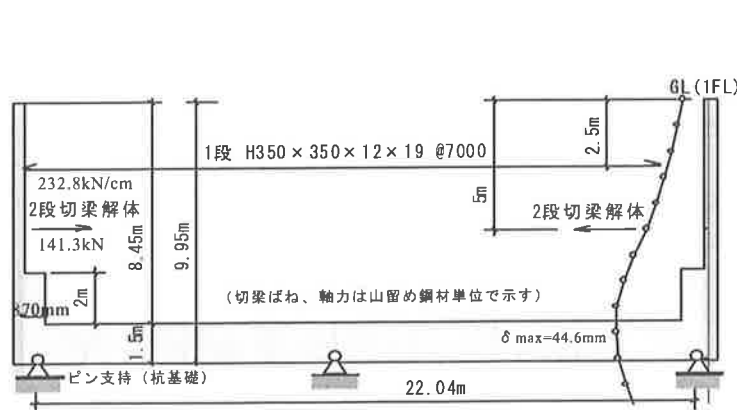


図6 2段切梁解体時の検討モデルおよび最終根切り時山留め変形

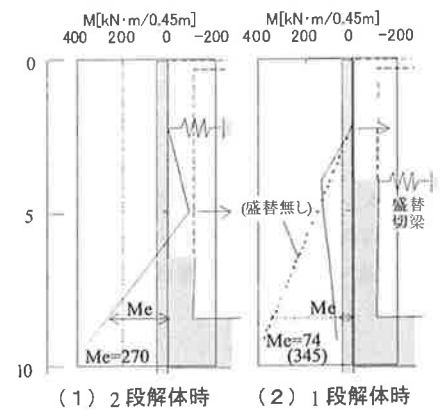


図7 切梁解体に伴う増加曲げモーメント

完了後まで同切梁を存置する計画に変更した。

## 5. 切梁解体時の合成壁・基礎スラブ接合部挙動

### 5.1 合成壁断面のひずみ分布

図8には、地下1階床レベルにおける各段切梁解体前後における曲げひずみ分布（増分）の実測値を計算値とともに示した。なおこの計算値は、文献3)に基づく方法で、山留め鋼材と鉄筋コンクリートで構成される合成壁内のひずみ曲率 $\phi$ を $\phi = Me/EI$ で定義したものである。

2段切梁および1段切梁の解体ともに、実測ひずみの分布から推定される中立軸は、計算値とほぼ一致する。また、両段切梁の解体による引張り域コンクリートの累加ひずみ[45(2段解体)+15(1段解体)=60]は、先に示したひび割れモーメント $M_a$ 時のひずみ[121]以下に抑制され、1段切梁の盛替え切梁が効果的な補強であったことを示している。

### 5.2 基礎スラブ内スタッドのひずみ分布

図9には、各段切梁解体前後における基礎スラブ内頭付きスタッドの曲げひずみ増分の深度分布を示した。

3節で述べた様に、基礎スラブ内の頭付きスタッドは、山留め鋼材が上方へ引抜かれる力に抵抗する様な曲げひずみの性状(図11)を示し、その抵抗力、すなわち伝達せん断力は、基礎スラブの中央断面付近(3,4)において大きい。また、2段切梁と1段切梁の解体時を比較すると、解体1週間後の曲げひずみ増分平均の比(106/38=2.8)は、山留め鋼材引張りひずみ $\epsilon_t$ の比(45/15=3.0)すなわち、切梁解体に伴う曲げモーメントの比にほぼ等しい。

なお、基礎スラブの浅い位置のスタッド(5)は、コンクリートによる拘束圧が小さく、また立上げ壁(合成壁)下端の複雑な応力状態であることなどにより、伝達せん断力が比較的小さくなるのではないかと考えられる。

図10には、基礎スラブ最下端に打設した異径棒鋼スタッド( $\phi 16$ )を含めて、各段切梁解体前後におけるスタッドの軸ひずみ増分を深度分布として示した。

スタッドの軸ひずみ増分は、切梁解体直後には深度方向に様な分布を示すが、時間経過とともに基礎スラブの深い位置ほど大きな軸ひずみ(引張り)となる。

## 6. 上部躯体構築時の計測結果

図12(a)~(d)には、地下躯体の構築から上部躯体の完了に至るまでの合成壁および基礎スラブ接

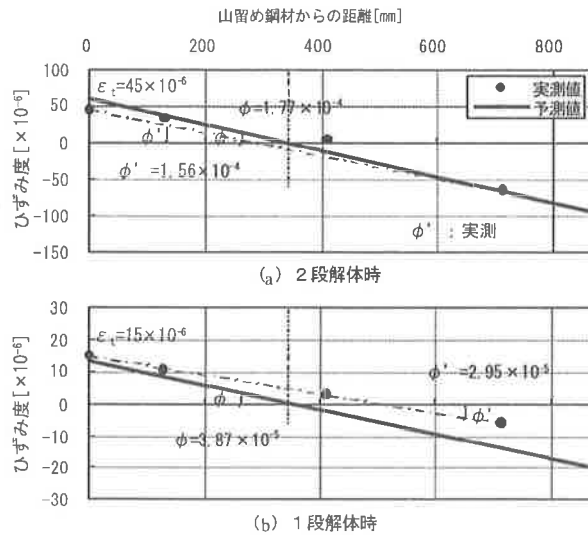


図8 合成壁断面ひずみ分布(増分)

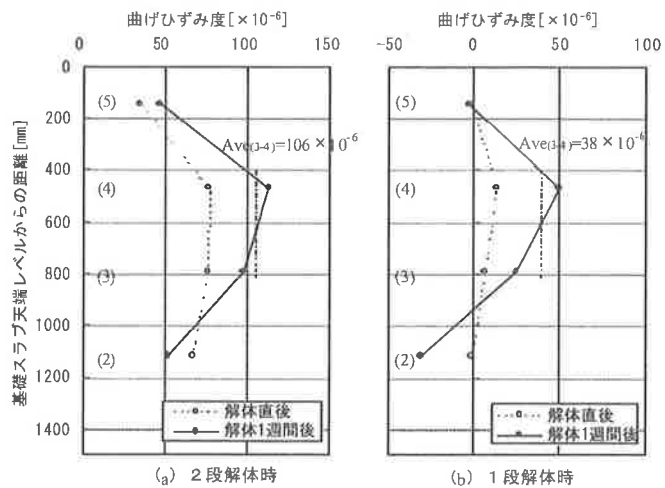


図9 スタッド曲げひずみ分布の変化

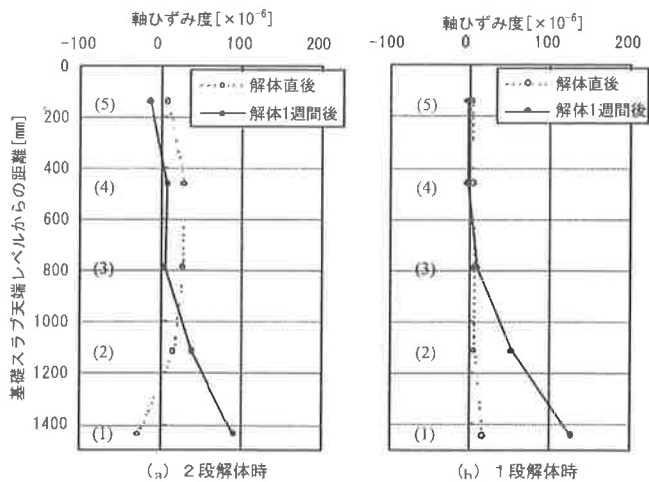


図10 スタッド軸ひずみ分布の変化

合部における温度と各評価ひずみを経時変化で示した。

図 12(b)に示した合成壁断面内のひずみは、1F床コンクリート打設後の7月中旬に各断面位置で計測開始以来の最大値を示し、その後は、若干躯体温度(同図(a))の影響も受けるが、ほぼ一定値となる。

図 12(c)には、基礎スラブ接合部内における頭付きスタッドの曲げひずみ度(上下面計測ひずみの差分値)を示した。各計測位置のスタッドは、地下躯体構築中は下端引張の曲げひずみが増加しているが、1F床コンクリートの打設後は、ほぼ一定となる。その後、上部の躯体構築が進んだ2001年12月末頃から基礎スラブ上端に近い測点5を除く各測点において、再び下端引張の曲げひずみが増加傾向を示している。

図 12(d)には、同接合部内における頭付きスタッドの軸ひずみ度(上下面計測ひずみの平均値)を示した。各計測位置のスタッドとも、地下躯体構築中は、引張方向の軸ひずみが増加し、1F床コンクリートの打設後は、ほぼ一定となる。その後、2001年12月末頃まで測点3、4、5の軸ひずみは、引張側に微増する傾向を示すのに対して、測点2の軸ひずみは、ほぼ一定値で推移した。これに対し、2001年12月末以降は、測点2の軸ひずみが引張り側に増加するとともに、測点5の軸ひずみが圧縮側へと変化する傾向を示し、この時期を境に接合部の断面内で応力状態が変化したことを表している。これは、上部躯体の構築に伴い、それまで基礎スラブの下端地盤から釜場揚水していた地下水を止水したことが要因の一つと推定された。そこで、4.1で示した合成壁・基礎スラブの一体2次元フレームモデルにより、基礎スラブ底盤下への水圧回復(81.4kN/m<sup>2</sup>)による接合部の応力変化を検討したところ、測点2位置では引張り方向へのひずみ増加となり、測点5位置では圧縮方向へのひずみ増加となることも確認された。なお、図 12(b)に示した合成壁断面内のひずみが

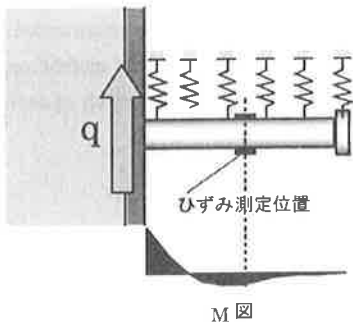


図 11 スタッドせん断力(q)と曲げひずみの関係

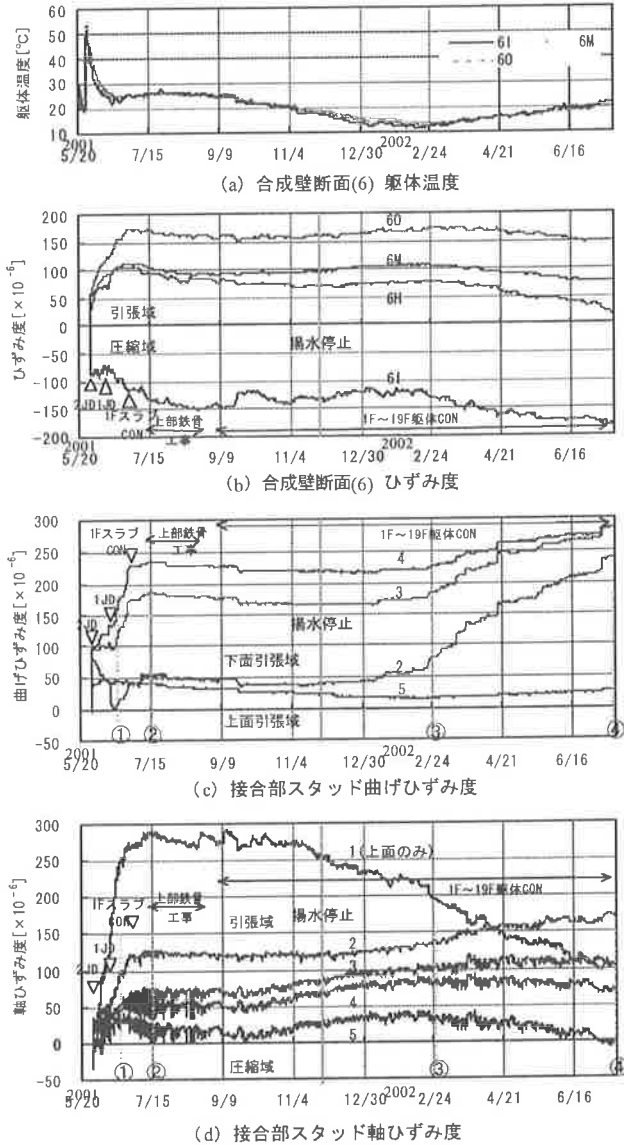


図 12 合成壁・基礎スラブ接合部計測結果経時変化

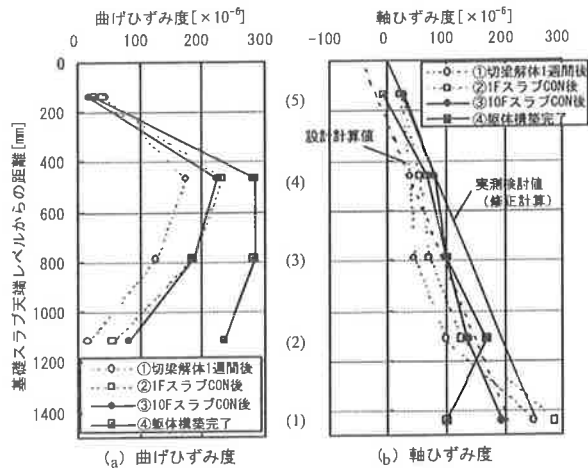


図 13 接合部スタッド曲げ・軸ひずみ分布

2002年1月以降、全体的に圧縮側へ移行する現象も基礎スラブ底盤下への水圧回復によるものと考えられる。

#### 7. 上部躯体構築時の合成壁・基礎スラブ接合部挙動

図13には、接合部スタッドの曲げ・軸ひずみ度の分布を図12中①～④の施工時期に対応させて示した。曲げひずみ度(図13(a))は、各施工時期ともに基礎スラブ中央位置の測点3,4で大きいのに対し、軸ひずみ度(図13(b))は、基礎スラブの深い位置ほど大きな値となっている。最終の躯体構築完了時④の実測値は、破線で示した設計計算値と良い対応を示している。ただし、基礎スラブ天端の軸ひずみを0とし、かつ、ひずみ分布の勾配を設計計算と同一に仮定した場合(接合部内の圧縮領域がないと仮定)は、実測値に対して、設計上安全側の評価となる。

#### 8. 結論・展望

地下水位の浅い軟弱な沖積粘性地盤における本設構造の合成壁(合成地下RC壁)について、地下および上部躯体の構築過程における同壁およびスタッドのひずみ計

測を行った結果、以下の項目が明らかとなった。

- (1) 合成壁は、その構築過程において、切梁解体や地下水の揚水停止など、仮設計画に起因した応力を生じる。したがって、合成壁の施工には、山留め変形や切梁軸力に関する計測管理とそれに基づく設計検証が必要となる。
- (2) 切梁解体によって生じる合成壁下端の曲げモーメントは、頭付きスタッドを介し、時間的な経過を経て高剛性な基礎スラブに伝達される。
- (3) 合成壁・基礎スラブ接合部における頭付きスタッドの曲げ・軸ひずみ分布より、合成壁H形鋼は上方に引抜かれる方向にせん断抵抗が発生し、かつ、基礎スラブ下面がスタッドの最大引張りとなるような応力伝達機構となることを確認した。

本設構造の合成地下RC壁は、マンションのドライエリア部擁壁などを中心に、その施工実績を増やしている。今後も各種の地盤や工事条件において、設計で想定した応力の発生・伝達機構を検証し、より信頼性の高い、経済的な設計手法を確立する所存である。

#### 参考文献

- 1) 沼上清・佐治聡：合成壁工法による切梁解体時の山留め補強、東急建設技術研究所報 No.21, 1995年10月
- 2) 沼上清・佐治聡・他4名：ソイルセメント柱列山留め壁の切梁解体時補強法(その1～その3)、日本建築学会1994年度大会(東海) 学術講演梗概集 B 構造 I, pp.1523-1528, 1994年7月
- 3) 沼上清・佐治聡：ソイルセメント柱列山留め壁の切梁解体時補強法(その4～その5)、日本建築学会1995年度大会(北海道) 学術講演梗概集 B-1 構造 I, pp.1025-1028, 1995年7月
- 4) 沼上清・窪倉隆・他2名：ソイルセメント柱列壁の切梁解体時における補強, 基礎工 Vol.22, No.5, pp.36-41, 1994年5月
- 5) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説, 1985年

## A STUDY ON COMPOSITE EARTH RETAINING RC WALL (PART 1)

S.Miura, K.Numakami

We carried out several cases of composite wall method on releasing strut for temporary reinforcement.

We measured strain on designed for permanent Composite Earth Retaining RC Wall for the first time, in construction term. In this report, we study the Composite Earth Retaining RC Wall by the measurement and analysis. This analysis method apply two-dimensional frame model of retaining wall, Composite Earth Retaining RC Wall and foundation slab. As a result of analysis and measurement, we got the following conclusion.

The Composite Earth Retaining Wall is designed based examination of releasing strut.