

論文 鉄筋の位置ずれ修正箇所の力学的挙動に関する研究

澤本 武博*1・久野 和磨*2・辻 正哲*3

要旨：本研究では、鉄筋の位置ずれ修正（台直し）の角度とその修正箇所の位置が RC 部材の力学的挙動に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、正負交番荷重を受ける場合、柱部で修正角度が大きいと、鉄筋の曲げと曲げ戻しの繰返しで主筋が破断した。また、基礎部で修正する場合でも、その鉄筋の曲げ角度が大きいと、主鉄筋の抜け出しによって柱基部断面を貫通するひび割れが発生し、部材軸線にずれが生じた。しかし、基礎部で位置ずれ方向と軸方向の比が 1:7 の勾配で修正した供試体は、位置ずれ修正していない供試体と同様の力学的挙動を示した。

キーワード：鉄筋コンクリート、配筋、台直し、鉄筋工、鉄筋の組立、耐震、交番荷重

1. はじめに

構造設計では、鉄筋は直線として取り扱われている。しかし、現実には多少の位置ずれは生じるものであり、修正またはひどい場合には台直しが行われる可能性がある。また、非破壊検査によってかぶりが簡単に測定できるようになると、近い将来かぶりの確保のために部材の接合部等の構造上重要な部分で台直しが行われがちになる可能性がある。また、土木構造物の場合、配筋場所で直接組み立てられることが多かったため、組み立て作業のその時々修正でき、急激な台直しを行う必要性はなかった。しかし、近年では地組または工場で組み立てられた鉄筋籠を配筋箇所に配置することも行われるようになり、今後もこの傾向は続くと考えられる。こうしたことから、鉄筋籠との接合部付近の短い範囲で位置ずれ修正を行う必要が生じ、修正のための鉄筋の曲げ角度が比較的急激になる可能性がある。さらに、土木構造物では、建築構造物に比べ、一般に不静定次数が低いことから、鉄筋の位置ずれ修正の影響が大きくなる可能性もある。

一方、比較的適切な台直しの方法についての

報告¹⁾²⁾は若干あるものの、不適切な台直しを行った場合の悪影響に関する研究はあまりない。そのため、不適切な台直しに対する注意を喚起するためにも、その悪影響を明らかにしておく必要がある。

本研究では、鉄筋を修正する位置（台直し位置）およびその修正を行うときの鉄筋の曲げ角度（台直し角度）が、曲げおよびせん断荷重下における RC 部材の力学的挙動に及ぼす影響を、一方向単調載荷試験および交番載荷試験より明らかにした。

2. 実験概要

2.1 供試体の形状および寸法

交番載荷試験用の供試体の例は、図-1 に示す通りである。基礎の端部、または先行して打ち込んだ梁端部を想定した部分（以降基礎部と略す）の断面は、高さ 300mm、幅 150mm とし、この部分にのみ破壊を防ぐために点線で示した軸方向鉄筋を付加した。また、柱を想定した部分の断面は、高さ 245mm、幅 150mm とした。なお、台直しのための軸方向鉄筋の曲げ内半径は、鉄筋に直径 30mm 程度のパイプをか

*1 東京理科大学助手 理工学部 土木工学科 博士（工学） （正会員）

*2 東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻

*3 東京理科大学教授 理工学部 土木工学科 工博 （正会員）

まして曲げることを想定し、2 ϕ とした。

曲げ卓越供試体には、軸方向鉄筋にD13(降伏点強度 360N/mm²、引張強度 515 N/mm²)を4本使用し、D6(降伏点強度 363N/mm²、引張強度 565 N/mm²)のスターラップを 50mm のピッチで配置した。なお、台直しする場合には、軸方向鉄筋の曲げ加工部分にもスターラップを配置した。

せん断卓越供試体の場合は、D13 の軸方向鉄筋を 2 本ずつ束ねて合計 12 本使用し、D6 のスターラップを 70mm のピッチで配置した。なお、軸方向鉄筋に D13 を 2 本束ねて使用したのは、台直しする際に、曲げ卓越供試体の軸方向鉄筋の曲げ半径に揃えること、およびコンクリートの行き渡りを考慮したことによる。

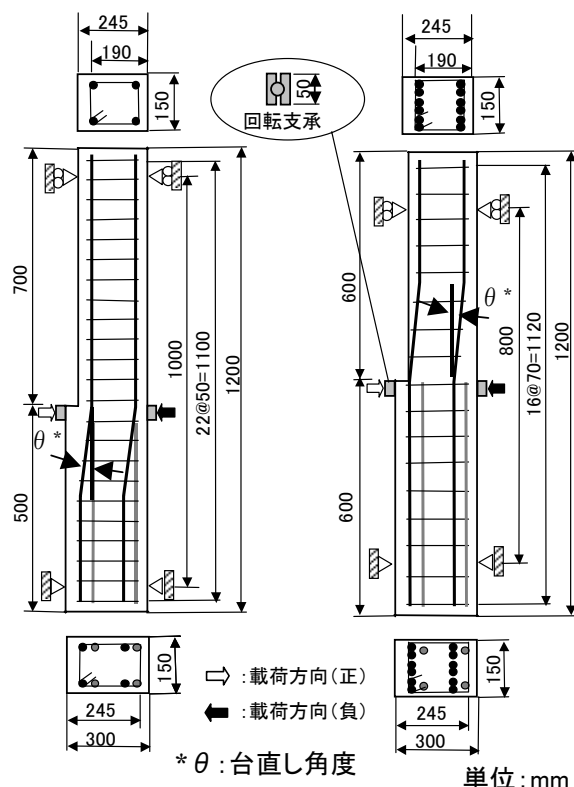
一方向単調載荷試験用の供試体の寸法および形状は、交番載荷試験用の供試体と同じである。なお、スターラップは、交番載荷試験用供試体では閉合タイプとしたが、一方向単調載荷試験用供試体ではU型とした。

実験に用いた供試体の一覧は、表-1 に示す通りである。今回の実験では、軸方向鉄筋に生じた 55mm の位置ずれを、柱部および基礎部のそれぞれにおいて、直角および台直しの勾配を位置ずれ方向と軸方向の比で 1 : 2 から 1 : 10 の間で変化させて修正する場合について検討した。なお、位置ずれ量を 55mm としたのは、杭と柱との鉄筋間に直接継手を設ける際の杭の位置ずれの上限を 50mm としている例が多いことを参考にし、それより少し大きめにしたことによる。また、台直しの影響が顕著になるようにかぶりを 55mm としたため、柱部で台直しする場合には、柱基部における片方のかぶりを 0 とした。

また、コンクリートの圧縮強度は、30 ± 3N/mm²であった。

2.2 載荷方法

曲げ卓越供試体の場合は、対象とした柱部のせん断スパンを 600mm (a/d = 3.2) とし、またせん断卓越供試体の場合は、せん断スパンを



曲げ卓越供試体の例 せん断卓越供試体の例
(基礎部での台直しを (柱部での台直しを
想定した場合) 想定した場合)

図-1 供試体の寸法の例(交番載荷試験用)

表-1 供試体一覧

載荷方法	破壊形式	台直し位置	台直し角度*
一方向単調載荷試験	曲げ破壊	なし	直線
		柱部	直角, 1:4, 1:10
		基礎部	1:1, 1:2, 1:4
	せん断破壊	なし	直線
		柱部	直角, 1:4
		基礎部	1:4, 1:7
正負交番載荷試験	曲げ破壊	なし	直線
		柱部	直角, 1:4, 1:10
		基礎部	1:2, 1:4
	せん断破壊	なし	直線
		柱部	直角, 1:7
		基礎部	1:4, 1:7

*台直し角度:位置ずれ方向と軸方向の比

(図-1 参照)

400mm ($a/d = 2.1$) とした。

交番载荷試験では、図-1 に示すように 1 点
 载荷とし、正負交番荷重を与えた。また、载荷
 は所定の変位で正負一回ずつ载荷する方法とし、
 その所定の変位を、図-2 に示したように、載
 荷位置で 5mm, 25mm, 50mm および 100mm
 となるように漸増した。なお、载荷に当たって
 は幅 50mm の回転支承を用い、周囲からの拘束
 を想定して、少しでも加圧側の基礎部のコンク
 リートが拘束されるように配慮した。

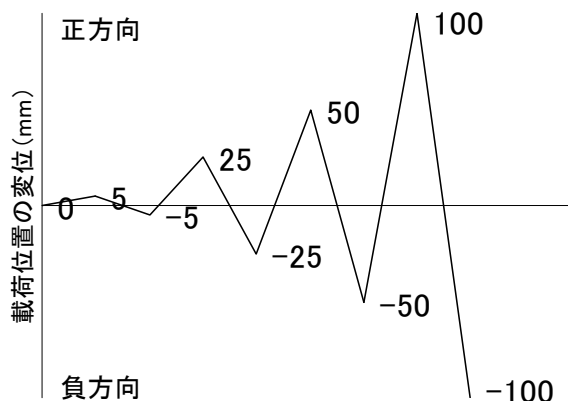
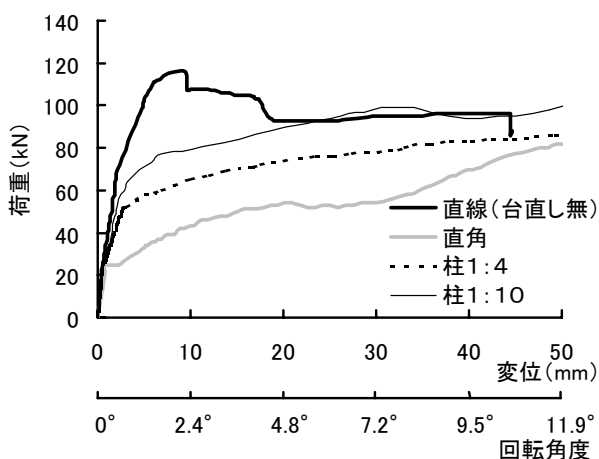
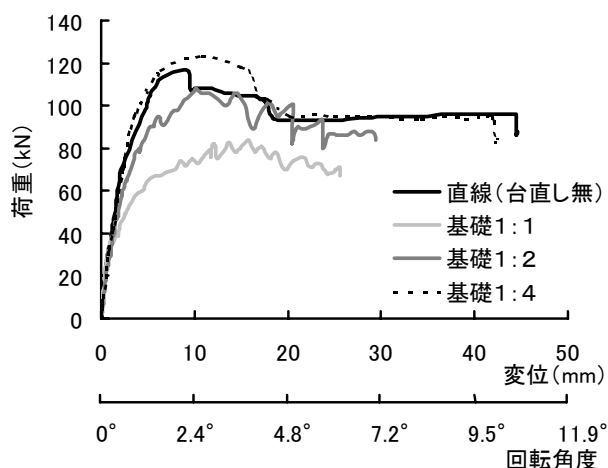


図-2 载荷サイクル(交番载荷試験)

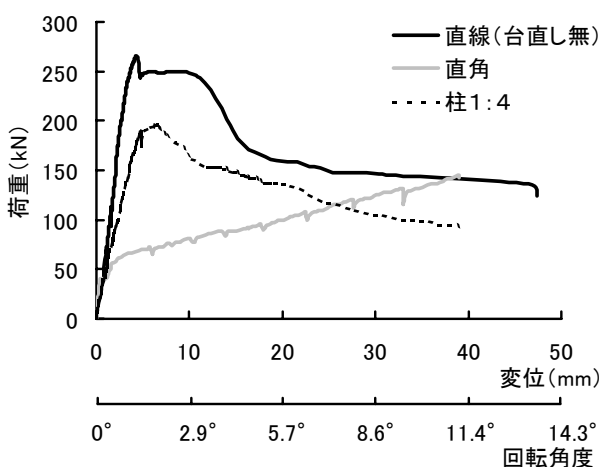


(1) 柱部で台直した場合

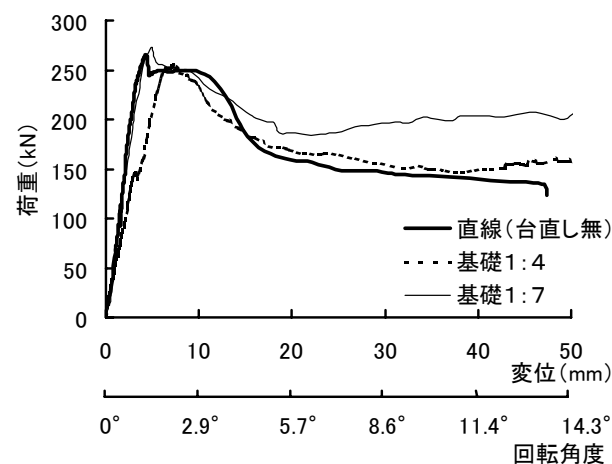


(2) 基礎部で台直した場合

図-3 载荷点位置での変位と荷重の関係(一方向単調载荷試験, 曲げ卓越供試体)



(1) 柱部で台直した場合



(2) 基礎部で台直した場合

図-4 载荷点位置での変位と荷重の関係(一方向単調载荷試験, せん断卓越供試体)

3. 実験結果および考察

3.1 一方向単調載荷試験

図-3 および図-4 は荷重変位曲線を、また図-5 および図-6 は破壊性状の例を示したものである。柱部と基礎部の境界で直角に台直した場合、曲げおよびせん卓越のいずれの供試体でも、耐力低下や剛性の著しい低下のほか、荷重レベルの極端に小さい時から一点に集中する大きなひび割れが発生した。一方、基礎部で台直した場合には、鉄筋の修正角度を 1:4 以下とすると影響はほとんど見受けられなかったが、せん断卓越供試体では、軸方向鉄筋の基礎部からの抜け出しによって、大きな変形まで耐えることもあった。

図-3 および図-4 中に示した回転角度は、たわみの全ては、基礎部と柱部の境界で発生した

塑性ヒンジ部で発生した回転によって生じたと仮定し、曲げ卓越供試体の場合 $[\tan^{-1}(\text{たわみ}/400) + \tan^{-1}(\text{たわみ}/600)]$ と、せん断卓越供試体の場合 $[2\tan^{-1}(\text{たわみ}/400)]$ として求めた値である。ここで、鉄筋が直線になろうと見かけ上生じる鉄筋位置での伸びの増分が供試体の寸法に関らず一定と考え、その伸びの増分によって付加される回転角度は有効高さに反比例すると仮定する。図-3(1)より、修正勾配が 1:10 と緩やかであっても、柱部で鉄筋の位置ずれ修正を行うと最大耐力に達する時の回転角度が直線の場合に比べて約 6° 大きくなっていたことから、例えば有効高さが 57cm と 3 倍になっても、最大耐力に達するときの回転角度は、直線の場合よりも 2° も大きくなる可能性がある。

以上のことから、柱部での台直しは、鉄筋の



図-5 供試体の破壊性状の例
(一方向単調載荷試験, 曲げ卓越供試体, 直角)



図-6 供試体の破壊性状の例
(一方向単調載荷試験, 曲げ卓越供試体, 柱 1:4)

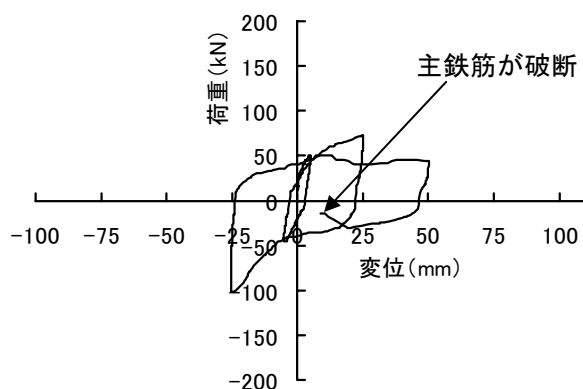


図-7 荷重-変位曲線
(交番載荷試験, 曲げ卓越供試体, 直角)

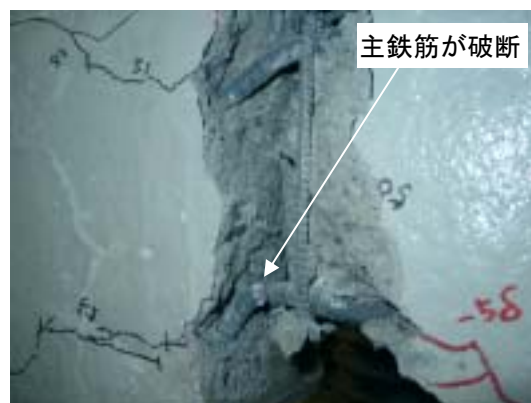


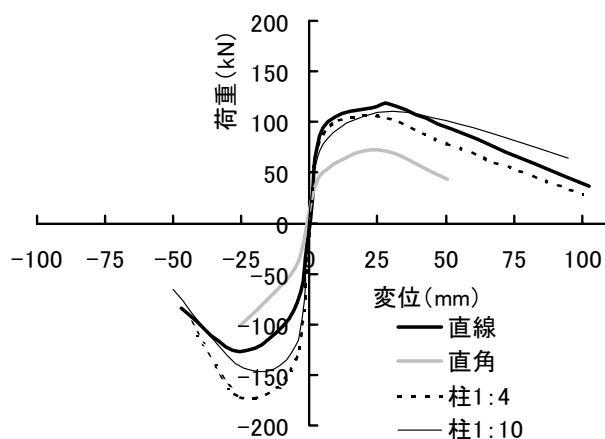
図-8 供試体の破壊性状の例
(交番載荷試験, 曲げ卓越供試体, 直角)

修正角度を 1 : 10 と小さくしても、剛性の低下やひび割れの集中により、不静定次数の小さい構造物では終局限界状態における付加モーメント等の変形に伴う二次的な悪影響や使用限界状態でのひび割れ、振動、耐久性等の面での悪影響も生じる可能性が大きい。

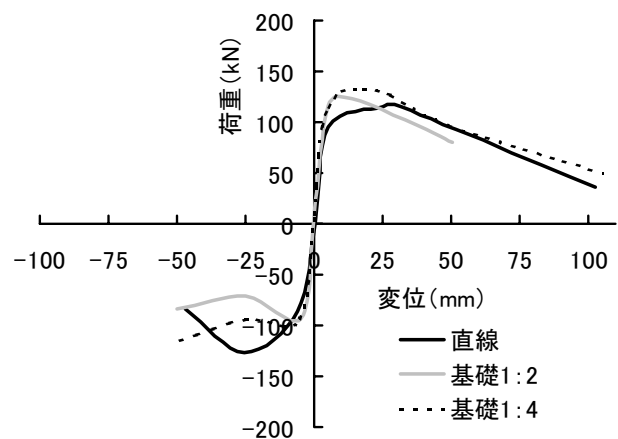
3.2 交番载荷試験

図-7 は、直角に台直した場合の荷重-変位曲線を示したものである。直角に台直した供試体では、図-8 に示したように、3 サイクル目(たわみ 50mm)の負の载荷時に主鉄筋が破断した。一方、鉄筋のみについての 90° の曲げと曲げ戻しを繰返した試験でも、3 回目の曲げ戻しで破断した。これらのことより、1 回目

に圧縮側にあった鉄筋が、交番繰返し载荷によって、3 回目の曲げ戻しを受けて破断したと考えられる。図-9 および図-10 は、それぞれ曲げ卓越供試体およびせん断卓越供試体についての荷重-たわみ関係の包絡線を示したものである。このいずれにおいても、直角および柱部において 1 : 4 の勾配で台直した場合には、主鉄筋は破断した。また、柱部で 1 : 4 の勾配で台直した場合、図-11 に示すように、鉄筋に作用している力の位置ずれによる偶力によって、鉄筋の勾配部での柱部コンクリートのコア部全体がずれ、そのずれでかぶりコンクリートが押し出されて剥落したようである。その次の負方向载荷時には、鉄筋が直線になろうとして、か

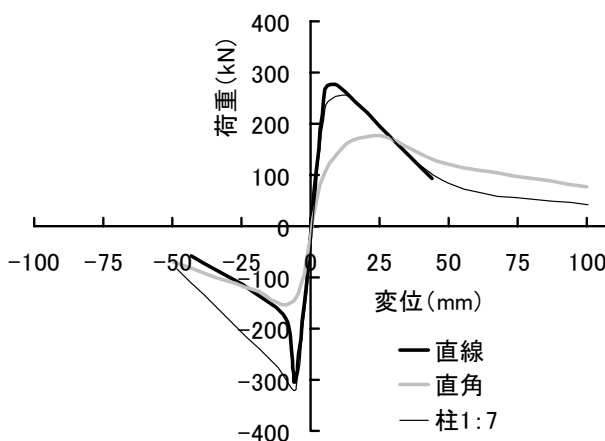


(1) 柱部で台直した場合

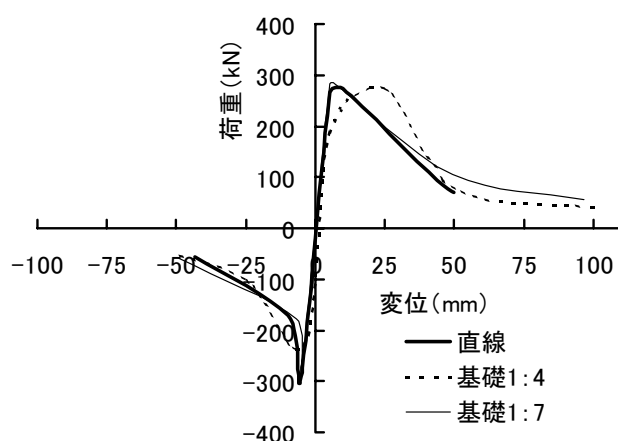


(2) 基礎部で台直した場合

図-9 包絡線 (交番载荷試験, 曲げ卓越供試体)



(1) 柱部で台直した場合



(2) 基礎部で台直した場合

図-10 包絡線 (交番载荷試験, せん断卓越供試体)

ぶりコンクリートを押し出すように作用する力が発生するが、今回の実験ではスターラップによって拘束されていたため鉄筋の跳ね出しによるかぶりの剥落は認められなかった。そのため、鉄筋に作用する力の合力は、スターラップで囲まれたコア部自体を正方向載荷時と同じ方向に移動させるように作用したようである。

全体的には柱部で位置ずれを修正した場合には、曲げ卓越供試体およびせん断卓越供試体のいずれにおいても、修正するための鉄筋の角度（勾配）が大きくなるに従い、耐力低下およびひび割れ発生荷重が低下し、基礎部と柱部の境界付近にひび割れが集中しやすくなる傾向にあった。

一方、基礎部で 1 : 2 の勾配で台直しした曲げ卓越供試体の場合、基礎部からの鉄筋の抜け出しによって、正負交番荷重の繰返しで柱基部断面を貫通するひび割れが発生し、その面で部材の軸線がずれる現象が認められた。台直しすると、鉄筋が直線になろうとすることからかぶりが押し出されて剥れようとするとともに鉄筋が抜け出しやすくなる傾向にあり、基礎部で 1 : 4 の勾配で台直ししたせん断卓越供試体でも、最大耐力に達する時のたわみが増大した。

4. まとめ

1) 限られた実験結果からではあるが、構造モデル上で弾塑性材端バネを設けるような位置で鉄筋の位置ずれ修正を行うことは避ける必要があると考えられる。また、部材接合部や断面積が変化するところで鉄筋の位置ずれが見つかりやすく、それを修正する必要が生じやすいとも考えられるが、こうした場合には面倒でも台直しの影響が出ないように応力的に余裕のある断面の大きい部分等で鉄筋位置の修正を行う必要がある。

2) 正負交番荷重を受ける場合、台直しの曲げ角度が大きいと、鉄筋の曲げと曲げ戻しの繰返しで、主筋が破断することがある。また、基礎部で台直しする場合でも、その鉄筋の曲げ角

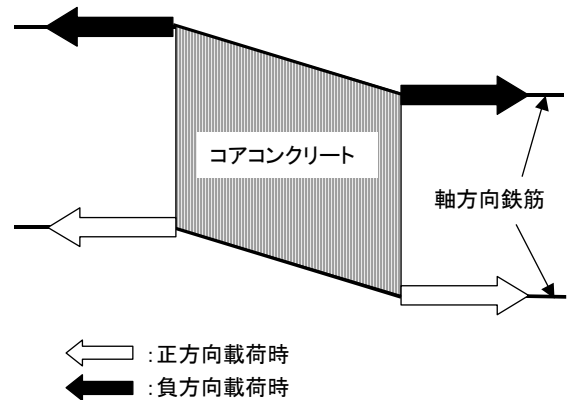


図-11 台直し部におけるスターラップに囲まれたコア部の移動に係わる力のモデル

度が大きいと、主鉄筋の抜け出しによって柱基部断面を貫通するひび割れが発生し、部材軸線にずれを生じることがある。一方、正負交番繰返し荷重が作用する場合には、基礎部で 1 : 7 の勾配で位置ずれを修正した供試体以外、スターラップで拘束されたコア部分が軸方向鉄筋が直線になろうとする方向へ移動しようとすることから、コンクリートが剥れ断面欠損が大きくなりやすい傾向にあった。

以上の結果は、台直しには、「基礎部において 1 : 5 程度を目安として、できるだけ緩やかにしたい。」という¹⁾建築で用いられている方法を用いるのも一つの対策となる可能性を表していると考えられる。しかし、不静定次数の小さい土木構造物では、不適切な箇所での台直しは思わぬ不具合の発生につながりやすいので、台直しを行う箇所と方法についてはより注意する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 株式会社建築技術：建築技術／1977・8，pp.156-158，1977.8
- 2) コンクリート構造物の信頼性向上のための配筋研究委員会：コンクリート構造物の信頼性向上のための配筋，社団法人 日本コンクリート工学協会，pp.47-59，2002.7