

外壁板取付システムの開発

— 吊荷回転誘導装置と吊芯変更バランス装置によるPCa外壁板の取付け —

西尾 仁* 遠藤 健*

要約： 建設工事の資材の揚重・吊込み作業においては、風やクレーンの旋回動作により発生する吊荷の回転を防止し作業効率や安全性を向上させるため様々な装置の技術開発が施されてきたが、揚重の補助具として考えた場合、より小型・軽量で扱いやすい工夫が求められていた。

本研究開発は、クレーンのフックブロックが水平に回転した場合に巻上ワイヤにより生じる捻れ復元力に着目し、吊荷の回転装置に吊荷の吊芯を変更する治具を付帯装備し外壁板取付のためのシステムとして現場に導入したものである。従来技術に比べ装置形状を大幅に小型・軽量化することができ、クレーンオペレータが揚重操作の一部として無線で遠隔誘導操作できることから作業性・安全性が向上した。超高層ビル建築における施工結果を従来工法と比較した結果、生産性の向上が見られ、多様な用途への適用が可能となった。

キーワード： 揚重作業, 省力化, 外装工事, PCa 外壁板

- 目次：**
- | | |
|------------------|--------------|
| 1.はじめに | 4.現場導入における効果 |
| 2.開発したシステムの構成と原理 | 5.おわりに |
| 3.外壁板取付システムの特長 | |

1. はじめに

高層建築工事等における鉄骨などの建設資材の取付けや吊込みは通常タワークレーンによって行われる。この際の荷受け作業は、鳶工などの作業員が介錯ロープを利用して吊上げ状態の吊荷の安定を確保しながら所定の位置まで誘導していた。

近年の構造物や揚重機械の大型化に伴い資材も大型化し、従来方式では荷受け作業が困難となる場合がある。また従来方式は高所作業であり、施工中の吊荷の回転など危険が伴うため改善が要望されていた。対策として、荷受け時に吊荷の方向や位置決めを行う装置によって作業員の腕力を必要としない位置まで吊荷を誘導することは、作業の安全性向上につながると考えられる。これまでも、クレーンフックに吊荷と共に取付け、風圧やジャイロモーメント¹⁾による回転力を利用した吊荷回転装置が開発され用いられてきた。しかし、

- 1)クレーン操作と吊荷の回転操作が別個である
- 2)回転力発生時のエネルギー変換効率が低い
- 3)装置が複雑で形状・重量も大きく揚重能力が低下する等の問題があり、揚重補助具として考えた場合により扱い易い装置の開発が求められていた。

西尾²⁾らは、タワークレーンの巻上ワイヤロープが有する捻れ復元力に着目し、遠隔操作式の回転機構をフックブロックに取付け、小型軽量でエネルギー効率の良い吊荷の回転誘導装置を開発した。この装置は鉄骨柱や梁の建方など自由な空間での吊荷の回転誘導には効果を上げたが、障害

物を回避しての吊込みは行うことができなかった。

例えば、積層工法を用いる現場などは最上部で鉄骨建方が先行するためその周囲を養生枠足場で覆う場合がある。このような現場で外壁版などを取付けるには養生枠足場の下部で吊荷を内側に引込む必要があるが、養生枠足場は外壁面より外側に張り出しているため荷取り作業では障害物となり、クレーンのフックや巻上げワイヤが養生枠足場と接触する危険がある。外壁板取付システムは、このような場所への外壁板の取付けを安全かつ容易に行うために、吊荷回転誘導装置と本装置に付帯装備する吊芯変更バランス装置とから構成する揚重補助システムである。

以下に開発方針を記す。

- 1)外壁板取付における作業員の危険作業を極力減ずること
- 2)小型軽量かつシンプルな構造であること
- 3)雁行型に連続するコーナー部においても取付作業が行えること
- 4)養生枠足場下部への吊荷の吊込みが容易に行えること
- 5)クレーン揚重能力を損なわないこと

本報は、外壁板取付システムの機構について述べると共に現場への適用事例から性能評価について報告する。

2. システムの構成要素と原理・機構

本システムはクレーンのフックブロックに装着した動力回転部（吊荷回転誘導装置）と、これを支点として吊下げた天秤状吊芯変更部（吊芯変更バランス装置）で構成する。

2.1 吊荷回転誘導装置

*生産技術本部

2.1.1 吊荷回転誘導装置の原理

空中で吊荷を回転させるには吊荷に与える回転力とそれを支持する反力が必要である。通常、高層建築用タワークレーンの巻上げワイヤロープはSよりとZより（逆方向に捩れたワイヤロープ）をペアで用いており、ワイヤロープ単体での自転を相殺する仕組みである。この構造はフックブロックの捻れに対する捻れ復元力（反力）が大きいため、これを反力としフックブロックに着脱可能な動力回転機構を取付ければ吊荷の回転制御が可能になる。

一般的なクレーンの巻上げワイヤロープ及びフックブロックの構成例を図1に示す。図1に示すようなクレーンモデルにおいてワイヤロープの捻れ回転に対抗する捻れ反力Fは(1)式で表され、以下のような特性を持つ。

$$F = \frac{(W/4) \cdot (l_y/2) \sin \theta}{\sqrt{H^2 - (l_y \sin(\theta/2))^2}} \quad (1)$$

W：フックブロックと吊荷総重量 l_y ：対角ワイヤ間距離
 θ ：捻れ角度 H：ワイヤロープ長さ

- 1) 反力Fは吊荷重の総重量Wと、フックブロックの捻れ回転角より算出した距離 $(l_y/2) \sin \theta$ に比例する
- 2) 反力Fはロープの長さHにおおむね反比例する
- 3) 反力Fはフックブロック角度がクレーンのトップシーブに対し $\pi/2$ 回転した時が最大となる

フックブロックに取付けた動力回転機構により吊荷に回転を加えた際の反作用により生じる動滑車部の捻れを、トップシーブの取付方向角から $\pi/2$ 前後に保つようにすれば有効に反力を利用できる。捻れ角度と反力の関係を図2に、ワイヤ長と捻れ反力によるトルクの関係を図3に示す。

2.1.2 吊荷回転誘導装置の機構

吊荷回転誘導装置はクレーンフックと連結するセンターシャフト機構及び本体と、フックブロックより反力を伝達する反力（受け）ドームで構成され、反力ドームの内部でセンターシャフト機構が回転する構造となっている。本体にはDCモータと減速機、電磁クラッチ、さらに動力用バッテリーと無線操作受信機が搭載される。装置本体を含む吊荷重は全てセンターシャフトを介しクレーンフックに預けられ、反力ドームは反力受板によりフックブロックと接触し回転のための反力を得る構造となっている。

DCモータが回転すると、減速機、電磁クラッチを介してピニオンギアを回転させる。ピニオンギアは反力ドーム基部周囲を囲むリングギアを回転させ、反力ドームに対してセンターシャフト及び吊金具（吊荷）を回転させる。このときの反作用が反力ドームを介してフックブロックを捻り、巻上ワイヤロープに反力が生じこれに対抗し吊荷を回転させる。電磁クラッチを切るとピニオンギアと減速機との接続が切れ、センターシャフト及び吊金具（吊荷）はフックブロックに対し自由回転する。吊荷回転誘導装置の内部機構概要図を図4に、仕様を表1に示す。

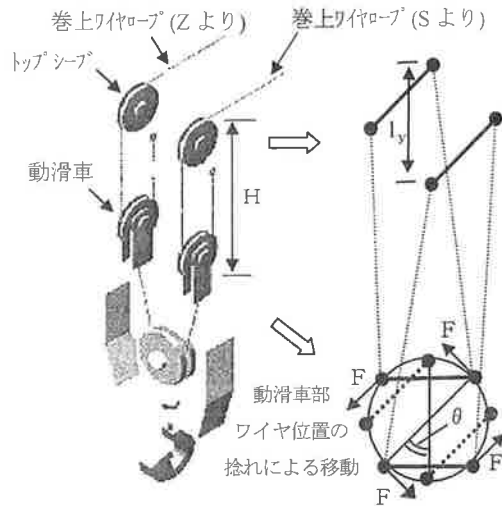


図1 巻上ワイヤロープとフックブロックの構成例

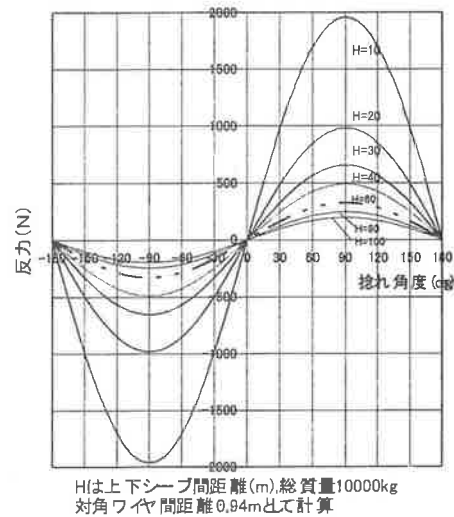
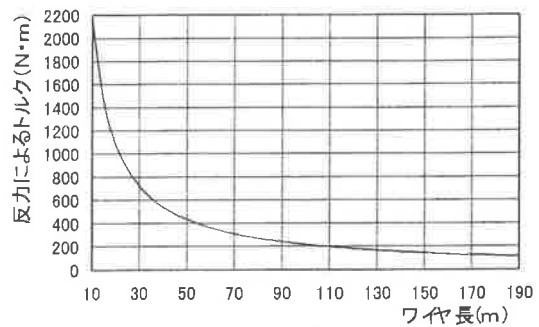


図2 フックブロックの捻れ角度と反力の関係



対角ワイヤ間距離0.94m,総質量10000kg,捻れ角度90度の場合

図3 ワイヤロープ長と反力によるトルクの関係

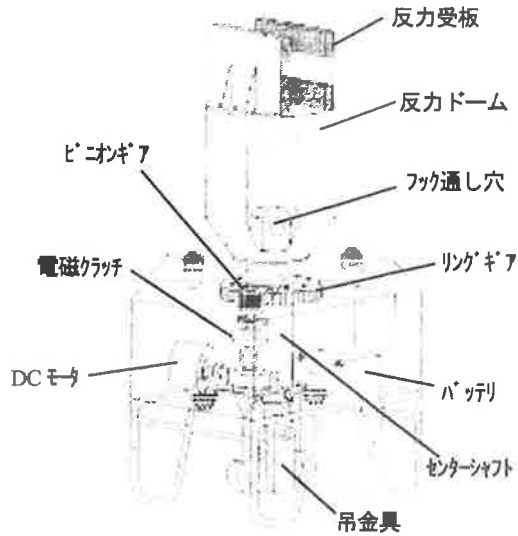


図4 吊荷回転誘導装置の概要図

表1 吊荷回転誘導装置の仕様

項目	単位	内容	備考
定格荷重	N	196000N	
回転時間	°/sec	Max約90° / 20sec	調整可能
回転トルク	N・m	1568	無負荷時150N・m
駆動モータ	V,W	DC24 150	Max 200rpm
動力源	V,Ah	DC12 24	シールドバッテリー個
消費電流	A	定格 回転時 約10A ロック待機時 約2A フリー待機時 約0.5A	
表示灯		リモート時 ロック時	ストロボフラッシュ
装置寸法	mm	W650 × D520 × H1910	
装置質量	kg	405	シャックル、吊フック含む

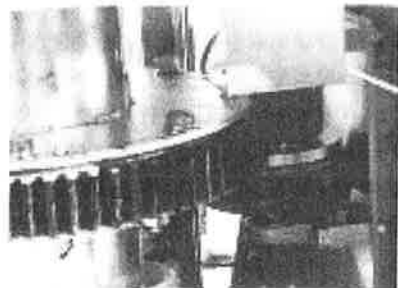


写真1 回転駆動部

2.2 吊芯変更バランス装置

2.2.1 吊芯変更バランス装置の原理

吊芯変更バランス装置は吊荷回転誘導装置の下に吊下げ、揚重資材の吊芯を変更して引込み作業を安全かつ容易に行うための補助装置である。吊芯の変更は吊荷回転誘導装置を支点とした天秤構造を構成し、吊荷の自重と対抗するカウンタウェイトによってバランスさせることで吊芯を変更し吊芯半径を生じる。原理図を図5に示す。

2.2.2 吊芯変更バランス装置の機構

本体は鋼製角柱でできており、櫛形の吊金物を有し揚重部材の形状に合わせた玉掛けを可能としている。また本体中央部の横幅は、施工上の有利性を考え安定を損なわない程度に小さくした。吊芯変更バランス装置の形状、性能曲線、仕様を図6、図7、表2にそれぞれ示す。

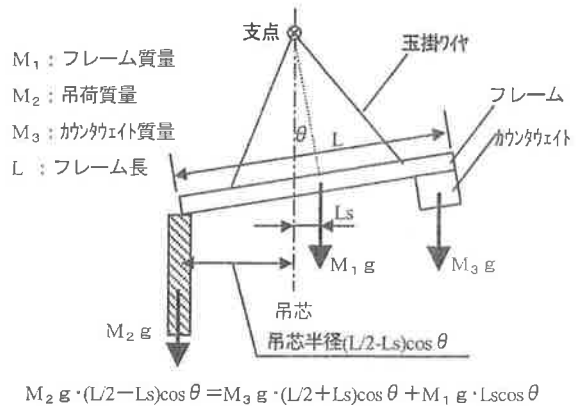


図5 吊芯変更バランス装置の原理図

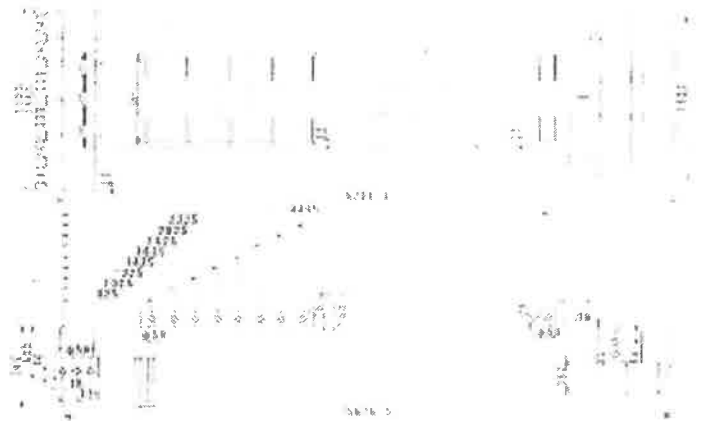


図6 吊芯変更バランス装置の外形図

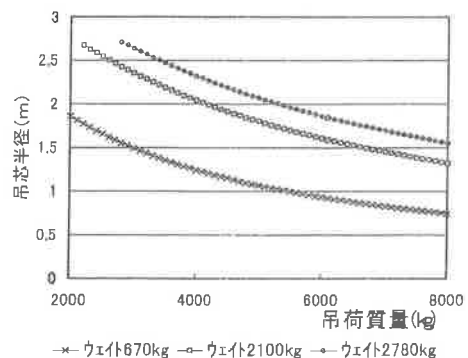


図7 吊芯変更バランス装置の性能曲線

表2 吊芯変更バランス装置の仕様

項目	単位	仕様
定格荷重	N	78,400
寸法 (W×D×H)	mm	1,700×5,752×915
質量	Kg	1,580~4,350
吊芯半径	mm	825~2,225

3. 外壁板取付システムの特長と動作性能

3.1 外壁板取付システムの特長

外壁板取付システムの特長を以下に記す。また全体写真を写真2に、概要図を図8に示す。

- 1) 玉掛け後、荷受けに至るまで全ての操作をクレーンオペレータが行う
 - ・揚重作業と平行した吊荷の回転が可能
 - ・作業員の高所での危険作業を廃した
- 2) 動力や可動部の組み込みは吊荷回転誘導装置のみとし、施工現場での扱い易さを最優先させた
- 3) システムの総質量はカウンタウェイト込みで最大 4,800 kg にとどめクレーン揚重能力を損なわない
- 4) 養生枠足場下部や雁行型に連続するコーナー部など、障害物を回避しての取付けが可能となり適用範囲が広い

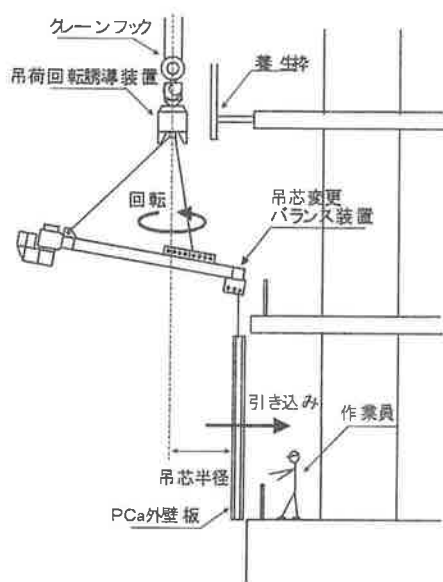


図8 外壁板取付システムの概要図

3.2 外壁板取付システムの動作性能

図9は吊芯変更バランス装置のカウンタウェイト別に、システム全体の慣性モーメントの変化を吊荷質量に応じて試算したグラフである。これを基に外壁板取付システムの動作性能を検討する。

仮に吊荷質量 6,000kg, 吊芯半径 1.5mを確保する作業



写真2 外壁板取付システム

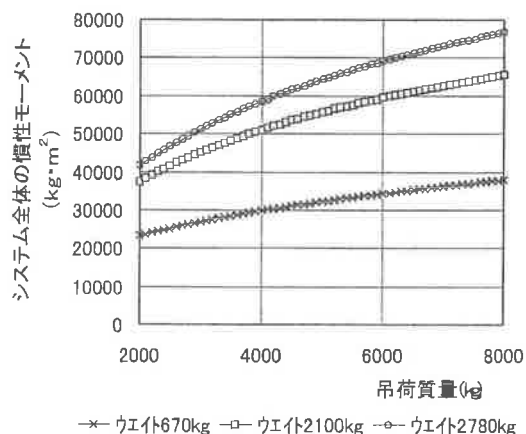


図9 吊荷質量とシステムの慣性モーメント

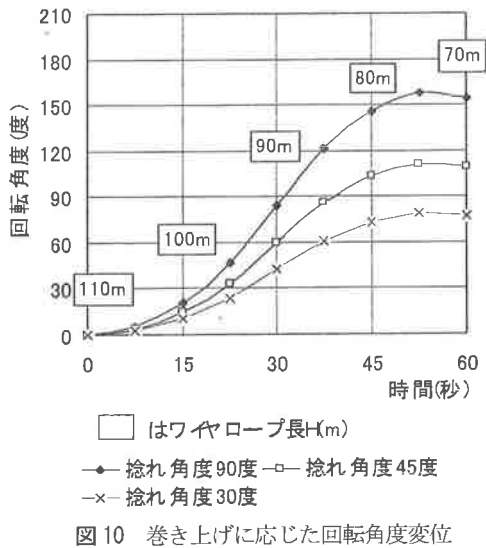
状態において、作業効率を最大にするため揚重中に回転動作を完了する状況を考える。積層工法での PCa 外壁板の取付け位置はワイヤロープ長 (以下H) がクレーントップシーブから約 70m程下がった付近である。Hが 110mの位置から回転を開始するものとして、巻上げに応じた回転角度変位を試算し図 10 に示した。計算の条件を下記 1)~6) にまとめた。

- 1) 吊荷質量 6,000kg
- 2) 吊芯半径 1.5m
- 3) カウンタウェイト 2,100kg (図7より)
- 4) システム全体の総質量 約 10,000kg
- 5) システム全体の慣性モーメント 60,000kg・m² (図9より)
- 6) クレーン巻上げ速度 40m/min

巻上げに伴いHが減少し反力が増加するので(図3より), Hが 110mから 85m間を加速回転, 85mから 70m間を減速回転とし近似計算した。また加速・減速の反力はフックブロックの捻れ角度 90 度 (最大反力), 捻れ角度 45

度（最大反力の約 70%），捻れ角度 30 度（最大反力の 50%）の場合でそれぞれ求めた。図 10 の計算は実際のオペレータの操作を模したのではなく、摩擦の影響を考慮しない理想状態である。

実際の PCa 外壁板の取付け作業に必要な吊荷の回転角度変位は、地切りから取付けまでに 90 度程度で行われることが多い。対して図 10 によると、フックブロック捻れ角を 30 度で均等に加減速を行った場合で、110m から 70m 間に約 80 度の回転が可能であることから、さらに細かい運転を行うことにより本システムによる揚重中の回転操作は十分に実現可能であることを示している。



4. 現場導入における効果

外壁板取付システムを用いた現場での PCa 外壁板の取付け作業における施工結果を元に、従来工法との比較から本システムの導入効果を検討した。

本システムの適用現場は地下 6 階，地上 41 階，棟屋 2 階，建築高さ 183.35m，延床面積約 106,000 m²，積層工法による超高層ビルである。また従来工法の現場は地下 5 階，地上 27 階，棟屋 2 階，建築高さ 124.42m，延べ床面積 77,384.935 m²，積層工法による超高層ビルである。これらの現場における高層棟での PCa 外壁板の取り付け工事のほぼ全工期にわたりクレーンの稼働時間に対する取付ピース数を調査した。

表 3 に主な調査内容の比較を記す。どちらの現場も高層棟は 2 基のタワークレーンによる施工である。システムの適用現場では鉄骨の先行建方に養生枠足場を採用している。システムはそれぞれのクレーンに 1 台ずつ，計 2 台を同時使用した。クレーン能力は JCC-400H, OTA-450N 共に定格荷重 Max18t，揚程 250m で同程度，JCC-230 II は前 2 機種約 7 割の能力である。PCa 外壁板の取付け作業においては作業半径，現場の設置状況，最大定格荷重に対する PCa 外壁板の質量などを考慮するとクレーン能力差による

表 3 システム適用現場と従来工法適用現場での調査結果の比較

比較項目	システム適用現場	従来工法適用現場
調査期間	13 ヶ月	11 ヶ月
養生枠足場	採用	採用せず
適用クレーン	JCC-400H, OTA-450N	OTA-450N, JCC-230 II
調査取付数量	1,869 枚	1,491 枚
標準 PCa 板質量	4,940kg/枚	4,260kg/枚
クレーン稼働時間	708 時間	827 時間
取付枚数/時間	2.64 枚/時	1.80 枚/時

影響はないと考えられる。現場で使用した標準的な PCa 板の質量は表 3 に示す通りである。

両現場での結果において全調査期間の取付数量を単にクレーン稼働時間で除し，時間あたりの取付け枚数を求めこれを比較すると，システム適用現場では平均 2.64 枚/時，従来工法適用現場では平均 1.80 枚/時となり，約 46% の向上が見られた。

次に，共にフロアが立ち上がり積層工法が軌道に乗った頃のデータを抽出して同様に比較すると，システム適用現場では平均 3.4 枚/時（20F～33F），従来工法適用現場では平均 2.3 枚/時（11F～22F）となり，約 47% の向上が見られた。これは全期間の対比結果とほぼ同じ結果であり，適用階高さに関係なく全体的に生産性を向上させていることがわかる。システムの適用現場は高層棟に連続するコーナー部を有し，最上層に養生枠足場を採用するなど，荷取り作業としては不利な状況にも関わらず結果は良好であった。この要因は，システムの導入によりクレーンオペレータの単独操作で吊荷の揚重作業中に回転誘導操作が可

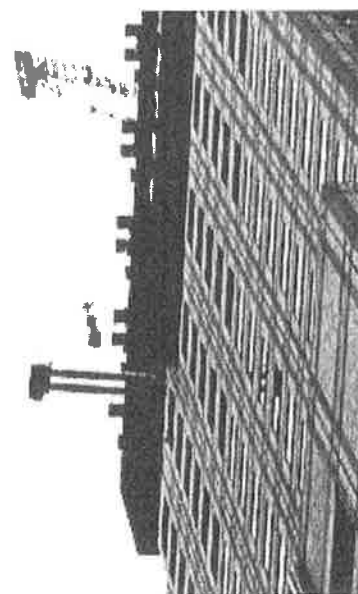


写真 3 施工中の外壁盤取付システム

能となったことから、荷取りに要する時間が短縮され、生産性が向上したものと考えられる。また波及的な効果として、従来工法でみられた高所での作業員による引き込み作業がなくなり安全性が向上した。

5. 終わりに

本システムの開発・導入に当たっては、当初設けた全ての方針を満足し、現場に導入することができた。特に動力

回転部（吊荷回転誘導装置）と天秤式の吊芯変更部（吊芯変更バランス装置）の組み合わせによる機構は、単純な構造であるが現場での適用性に優れ、扱い易さの点で高い評価を受けている。これは建築現場の機械化・省力化を目指す上で自動化・ロボット化の開発が進む中、開発のもう一つの方向性を示唆していると思われる。

謝 辞

本研究開発にあたり、ご協力を頂きました建築エンジニアリング部、東京支店建築部の関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 井上文宏・池田雄一・他4名：第5回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.107-116，1995年7月
- 2) 西尾仁・植野修一：日本建築学会学術講演梗概集，pp.577-578，1996年9月

THE DEVELOPMENT OF SUSPENDER INDUCEET EQUIOMENT

H.Nishio, K.Endou

As for hoist and drag of the material of the construction work, development of technology of the various devices was given to prevent the rotation of hoisted objects which occurs by the wind and the turn movement of the crane and to improve working efficiency and safety.

But, when it thought as an assistant ingredient of hoist, the technology which made miniature light-weight and handling easier was being looked for. When the hook block of the crane rotated horizontally, writers paid attention to the stability of the twist which occurs in the wire, and developed the rotation control device of hoisted objects which this phenomenon was used for, and introduced it in the construction site.

A miniature could lighten a device form drastically in comparison with the technology so far, and work and safety improved from a crane operator's operating remote guidance without wire as for some of hoist operation as this result.

The jig that changes the balance point of a/the hoisted objects by the reduction of weight of a/the device, able to be equipped and able to be added. Accordingly rather than the application to a various usage became possible.