

線路上空建物建設時の吊荷落下対策の開発



野畑 茂雄*



星川 努*

線路上空建物の鉄骨建方工事は、鉄骨をクレーン等で運搬する際に人工地盤下の線路階へ落下し、列車運行に支障する恐れがあるため、列車運行時間帯でない夜間の短時間で行う場合には施工能率が悪く、大規模な線路上空建物では工期が長くなる要因になっている。

本研究では、線路上空建物建設時の吊荷落下対策のため覆工板を設置する防護工法を提案し、落下試験およびその結果に基づいた解析を行った。その結果、解析方法の妥当性を確認することができた。

●キーワード：線路上空建物、鉄骨建方、人工地盤、防護工、衝撃試験

1. はじめに

線路上空建物の建設は列車運行に支障なく安全に施工しなければならない。線路上空建物の鉄骨建方工事は、鉄骨等の吊荷をクレーンで運搬する際に人工地盤下の線路階へ落下する恐れがあることから、列車運行時間帯でない夜間の短時間で行う場合には施工能率が悪く、大規模な線路上空建物では工期が長くなる要因になっている。

本研究では、鉄骨が落下した場合の人工地盤下の線路階の安全性を確保し、鉄骨建方工事の作業時間の拡大を図るため、覆工板を設置した落下対策について落下試験および解析による検証を行った。

2. 落下対策の概要

人工地盤上で鉄骨建方等の吊荷作業を行う場合は、落下させない対策を行うことが原則であるが、吊荷が落下した場合、列車運行に影響を与えない落下対策（図1参照）として、本設床版上に仮設床である覆工板を設置する防護工法を考えた。

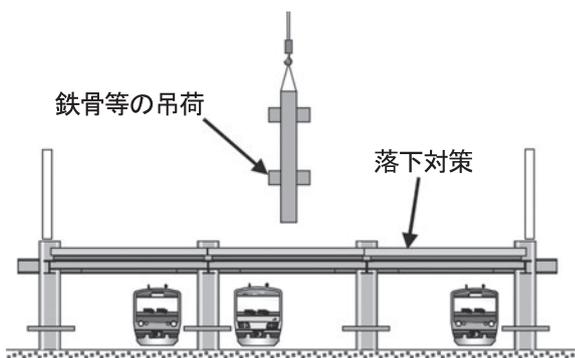


図1 人工地盤上の落下対策

覆工板を設置する防護工法の断面図を図2に示す。人工地盤の大梁上には小梁のピッチで、小梁にはピッチ2000mmでそれぞれ束柱を仮設する。束柱の上には小梁と直行方向に根太を仮設し、根太の上に覆工板を仮設する。

落下対策に想定した各部材の形状寸法と材種を下記に示す。

- ・覆工板：幅1000mm×長さ2000mm
高さ200mm (SM490)

覆工板は図3のようにH形鋼を5本並べ、外周に平板を設ける形状をしている。

- ・根太：H-400×400×13×21 (SS400) @2000
- ・束柱：H-300×300×10×15 (SS400) @2000×@2600
- ・覆工板下面から床版上面までのクリアランス530mm

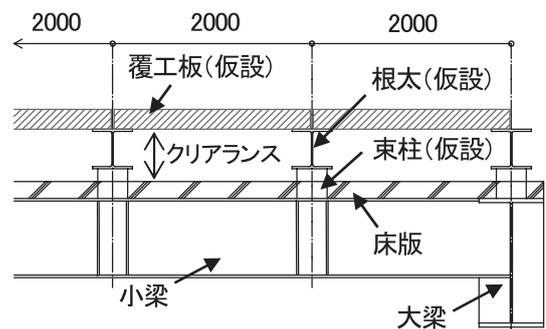


図2 覆工板を設置する落下対策

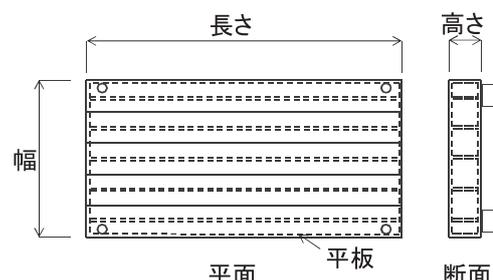


図3 覆工板の形状

覆工板を設置する防護工法の目標性能として、吊荷が落下し、覆工板に衝突しても覆工板の変形をクリアランス530mm以内に収め、床版と直接当たらないようにすることとした。

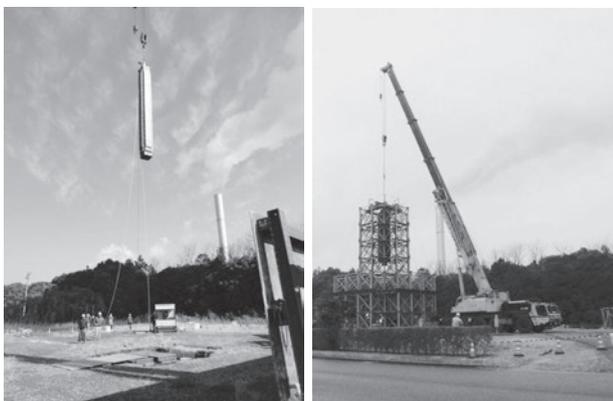
3. 落下試験

3.1 試験計画

吊荷落下時の覆工板の変位を確認するため、落下試験を行った。この試験では鉄骨建方工事の柱運搬を想定し、吊荷重量は6tおよび10t、落下高さは線路上空建物の階高2層分に相当する10mを限度として試験ケースを設定した(表1参照)。ケース1~3は落下高さをパラメーターとし、ケース4は吊荷重量と落下高さの数値を入れ替えて設定した。吊荷は覆工板との衝突面を□-500×500×22で統一し、ケース1~3では柱の外周面とプレートを溶接、ケース4では衝突面

表1 落下試験ケース一覧

	吊荷		
	重量	落下高さ	位置エネルギー
ケース1	58.8kN (6t)	1m	58.8kJ
ケース2	58.8kN (6t)	5m	294.0kJ
ケース3	58.8kN (6t)	10m	588.0kJ
ケース4	98.0kN (10t)	6m	588.0kJ



ケース1~3

ケース4



吊荷の落下状況(ケース4)

図4 落下試験の実施状況

以外に使用したH形鋼とプレートをボルト接合することで重量を調整した。

図4に落下試験の実施状況を示す。ケース1~3ではラフタークレーン、ケース4は仮設タワーを使用して吊荷を覆工板の中央に落下させた。図5に覆工板の設置状況を示す。覆工板の両端は根太で支持し、根太は吊荷落下時の変形を防止するため、プレート補強を行った。覆工板は根太と締結等は行わず、実工事の際に施工性が良い根太の上に乗せる工法を採用した。地盤による衝撃力の吸収を防ぐため、ケース1~3では土間コンクリート、ケース4では敷鉄板をそれぞれ地盤上に設置した。

試験の測定項目は、吊荷と覆工板が衝突した瞬間にピークに達する最大変位と試験後も一定の値にとどまる残留変位の2種類とした。最大変位は高速カメラ等で撮影を行い、残留変位は試験後にスケールを使用して測定を行なった。

3.2 概略検討

落下試験前に覆工板の変位を算出するため、文献1)を参考に、概略検討を行った。概略検討は図6に示すように覆工板を単純支持はりとし、中央に重量mgの吊荷が高さhから自由落下した場合の変位 δp を求める。吊荷の幅500mmの間隔で2つの塑性ヒンジが生じ、衝突による局部破壊が問題にならないと仮定する。検討は吊荷の位置エネルギーが大きいケース3で行った。以下に検討結果を示す。

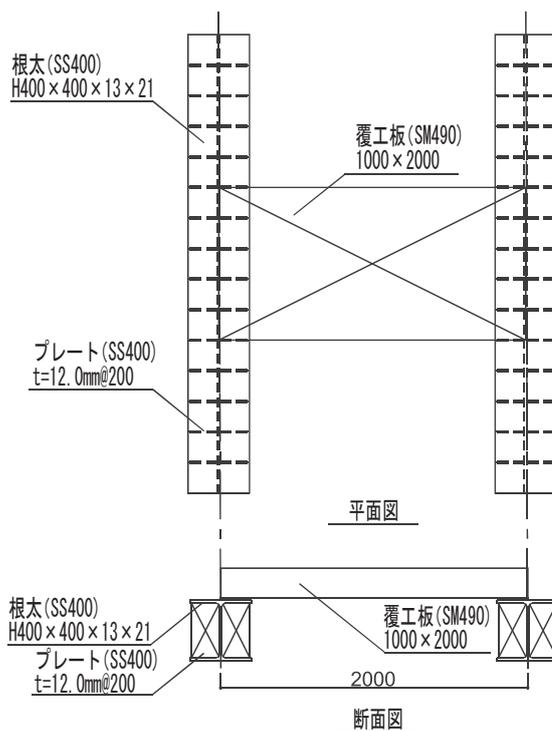


図5 覆工板の設置状況

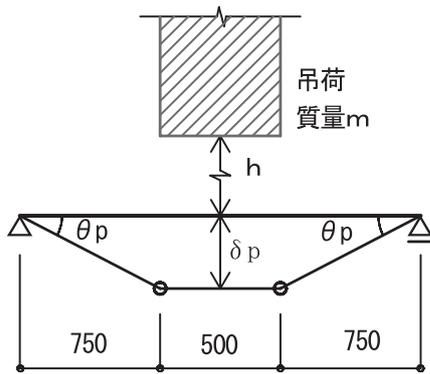


図6 覆工板の変形メカニズム

位置エネルギー=塑性ヒンジにおける内部仕事とし、 $mg(h + \delta_p) = 2M_p \times \theta_p$ とする。

ここで、吊荷の重量 $mg = 58.8\text{kN}$ 、落下高さ $h = 10\text{m}$ 、覆工板のたわみ δ_p 、覆工板の全塑性曲げモーメント $M_p = 578.5\text{kNm}$ 、塑性回転角 $\theta_p = \delta_p / 0.75\text{m}$ とすると、

$$\begin{aligned} \text{覆工板のたわみ } \delta_p &= m \cdot g \cdot h / (2M_p / 0.75 - m \cdot g) \\ &= 58.8 \times 10 / (2 \times 578.5 / 0.75 - 58.8) \\ &= 0.396\text{m} = 396\text{mm} \leq 530\text{mm} \end{aligned}$$

以上から、吊荷の位置エネルギーが大きいケース3でも覆工板の変位が床版と衝突しないクリアランス530mm以内に収まると予想した。

3.3 試験結果

3.3.1 覆工板の変位

図7に覆工板の変形状況、表2に試験結果を示す。図7および表2から吊荷重量および落下高さが大きくなるほど、覆工板の最大変位および残留変位共に増加していることがわかる。吊荷の位置エネルギーが大きいケース3およびケース4ではどちらも覆工板が「く」の字状に大きく変形した。ケース3およびケース4の試験結果から、吊荷重量および落下高さがさらに大きくなる場合には、吊荷が覆工板を突き抜けるのではなく、覆工板が根太から脱落することが予想される。吊荷の位置エネルギーの等しいケース3とケース4では最大変位で80mmの差が生じた。また、ケース3の概略検討と試験結果を比較すると、概略検討のほうが130mm程度大きい結果となった。

3.3.2 吊荷の跳ね上がり

落下高さの低いケース1およびケース2では吊荷が衝突した直後に覆工板から跳ね上がったが、ケース3およびケース4では吊荷が覆工板と衝突後に突き刺さるように一体となって動き、跳ね上がりはほとんど確認されなかった。吊荷の跳ね上がりがほとんどは発生していないケース3およびケース4では、吊荷の位置エネルギーの大部分を覆工板が吸収したと考えら

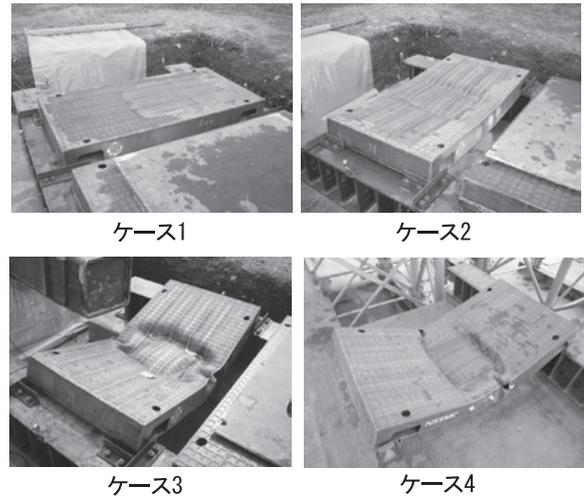


図7 試験後の覆工板の変形状況

表2 試験結果

	覆工板の変位	
	最大変位	残留変位
ケース1	31mm	11mm
ケース2	121mm	106mm
ケース3	265mm	235mm
ケース4	345mm	309mm

れる。ケース1~4の全ての試験において吊荷および根太の損傷はほとんど見られなかった。

4. FEM 解析

4.1 解析モデル

FEM解析を用いて試験結果の再現を試みた。図8に解析モデルを示す。解析モデルは、吊荷、覆工板、根太のみ作成し、吊荷-覆工板、覆工板-根太は接触、剥離を伴う接触面として設定した。吊荷はモデルを簡略化し、重量に応じて密度を調整した。吊荷は弾性体、覆工板および根太は弾塑性体で形成した。覆工板の降伏強度は、材料によるばらつきを考慮し覆工板から採取した材料試験結果を採用し、降伏後はバイリニア型の応力-ひずみ関係とした。

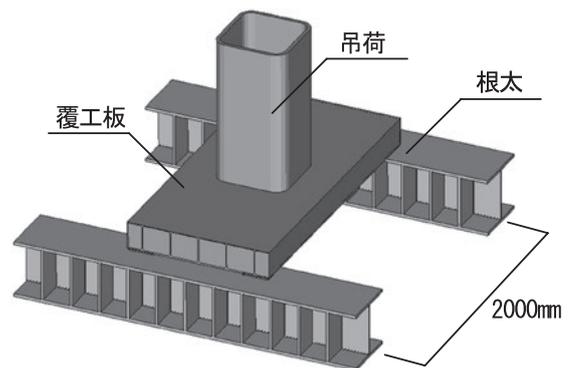


図8 解析モデル

4.2 試験結果と解析結果の比較

図9に覆工板の変形状況、表3に解析結果、図10に時間-変位曲線を示す。図9および表3から覆工板の変位は最大変位および残留変位共に試験結果を上回っているが、覆工板の形状は概ね一致していることがわかる。さらに、

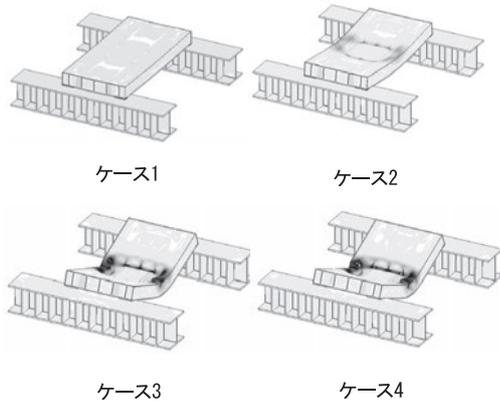


図9 解析による覆工板の変形状況

表3 解析結果

	覆工板の変位	
	最大変位	残留変位
ケース1	41mm	25mm
ケース2	147mm	135mm
ケース3	313mm	301mm
ケース4	351mm	334mm

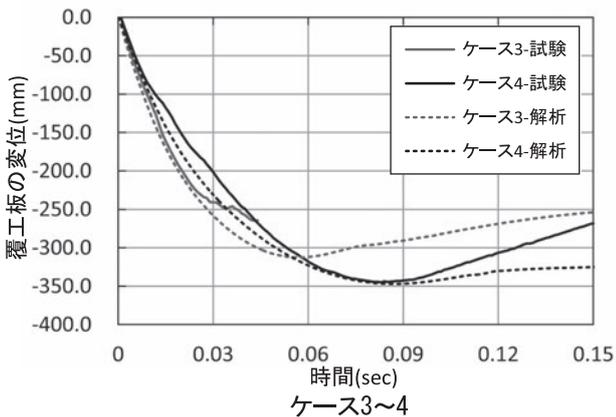
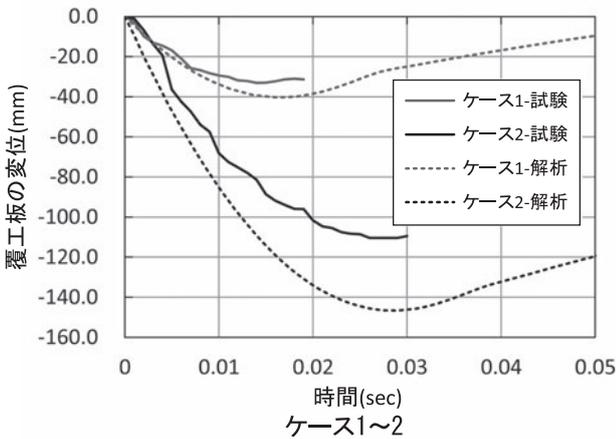


図10 時間-変位曲線

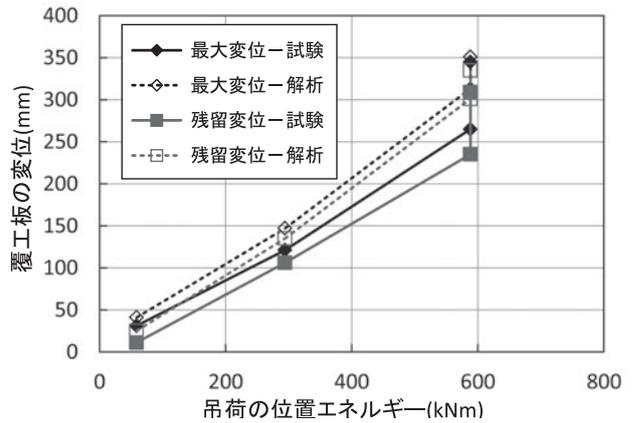


図11 エネルギー-変位曲線

図10から最大変位に達するまでの時間と変位の関係が近い傾向を示していることから、FEM解析によって吊荷落下後の覆工板の挙動を再現できているといえる。

図11に吊荷の位置エネルギーと覆工板の変位の関係を示す。図11から吊荷の位置エネルギーと覆工板の最大変位および残留変位は概ね比例関係にあることがわかる。ただし、ケース3とケース4の変位量を比較すると、最大変位および残留変位共に解析結果は試験結果ほど差が生じなかった。解析結果が試験結果ほど変位量の差が生じなかった原因としては、覆工板の降伏後のひずみ硬化域、吊荷と覆工板の衝突時のエネルギー損失等を再現しきれていないことが原因と考えられる。

解析結果は試験結果と比較して変位量が大きくなっているものの、吊荷落下後の覆工板の挙動を概ね再現できており、FEM解析結果の妥当性を確認することができた。

5. まとめ

線路上空建物建設時の吊荷落下対策のため覆工板を設置する防護工法を提案し、落下試験およびFEM解析を行った。

試験結果から吊荷落下時の覆工板の変形状況を把握した。さらに、FEM解析を用いて試験結果を再現し、解析結果の妥当性を確認することができた。

今後はFEM解析を用いて、覆工板を設置する防護工法に対して吊荷重量、落下高さ等をパラメーターにしたFEM解析を進め、本工法の適用範囲を検討していきたい。

参考文献

- 1) 石川信隆、大野友則、藤掛一典、別府万寿博；基礎からの衝撃工学、森北出版、2008.3