

超高層建物の解体工法における要素技術の開発

－簡易EVとスラブ解体・撤去工法－

竹内 博幸* 橋 祐一*

要 旨

解体工事にあたり、最も重要なのは、解体重機や所要機材をどのようにして施工階まで揚重するのか、また、コンクリートや鉄骨を含む解体材をどのように最下階まで移動させるか、の2点に絞られる。本システムでは、人荷用エレベータ(EV)の駆動部を応用した簡易EVを設け、解体重機と所要機材を最上階に上げ、施工を開始するとともに、解体ガラや解体材の大半を最下階まで降ろすフローとしている。

本報では、本システムの主要な要素技術となる簡易EVの構築を目指して、実際に模擬した稼動実験を行いシステムにおける有効性を検証した。また、簡易EVを通す堅空間を迅速に構築するために、動的破碎によるスラブ切断工法を案出・検討し、やはり実証実験を行い、その有効性を検証した。

1. はじめに

高度成長期の後期に建てられた超高層建物の更新が最盛期を迎えている。建設大手をはじめとする建設各社が、独自の解体工法を適用して、安全性向上と工期短縮に挑んでいる。それらの工法は、単に合理性のみを追求したものではもはやなく、その跡地に建つ新しい建物の予感と期待を孕むものとして一般の人々には捉えられている。

各解体工法とも一見華やかで、立地の関係もあり衆目を惹きつけているが、いずれも過剰装備の感が拭えず、合理性を追求した結果とは見做せないものが散見される。

そこで、我々は、解体重機を揚重するのに、多額な費用を要するクレーンを用いず、躯体内部に設けた簡易エレベータ(EV)で揚重することを柱とする解体工法を考案した。

本報では、解体工法の要点となる簡易EVの基本形についてその稼動性と精度を検証した稼動実験と簡易EVを稼動させる空間を迅速に構築するためのスラブ破碎実験について報告する。

2. 解体工法の概要

今回考案した解体工法のフローを図-1に示す。

本工法のポイントとなる簡易EVは、解体建物の内部1スパンのスラブを2階から上方に順に抜いて、最上層まで連続させた空間に構築する。また、各階のスラブは、2階からEVのガイドを最上層まで先行して立ち上げた後、切断した2階スラブを2階まで上げた簡易EVで受けて1階まで降ろして処分する。以下、順次下方から1層分ずつスラブを切断、降下、処分し最上層まで貫通した空間を構築する。そこに簡易EVを架設し、次に、解体重機を施工階の最上層まで揚重し、解体

作業開始後は、解体ガラや解体材を1階まで降下させ、そこでそれらを撤去ないし処分する。

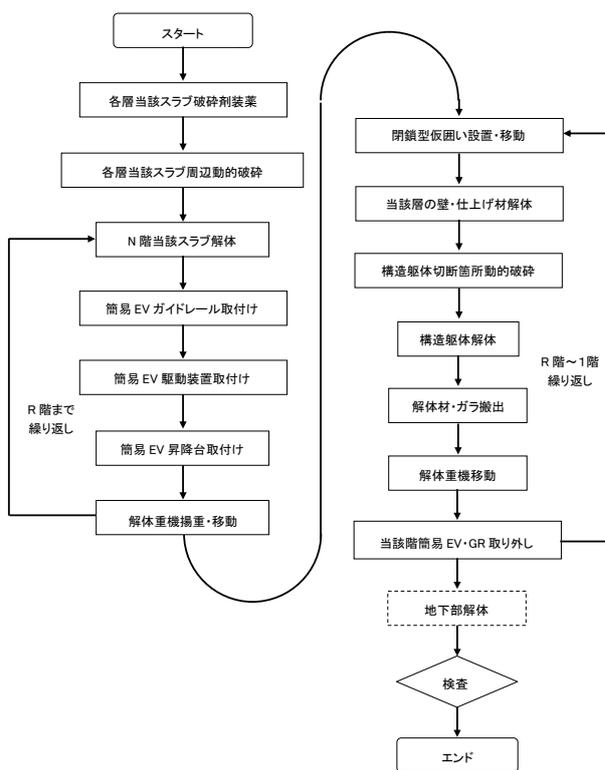


図-1 解体工法フロー

3. 簡易EVの概要

簡易EVの設置例を図-2に示す。

*技術研究所 建築技術開発部

簡易 EV の駆動機は、人荷用 EV に用いられているラック&ピニオン方式とし、その仕様・容量は、積載する解体重機とその架台の合計重量に基づき設定される。積載する解体重機とその架台の仕様・重量を表-1および図-3に示す。

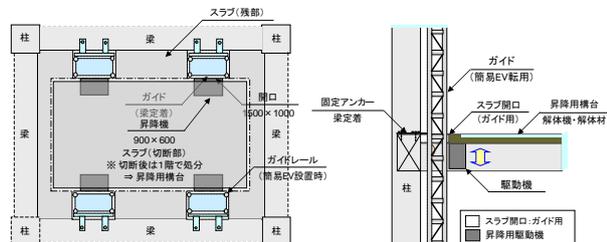


図-2 簡易 EV 設置例

表-1 簡易 EV 架台の仕様

対象	名称	摘要	重量	数量	計
積載物	解体機	固体重量	19.5t	1台	—
	〃	運転重量	25.4t	1台	—
架台	覆工板	図-3	624kg	14枚	8.7t
	鋼材	上桁材	0.93t	3本	2.8t
	鋼材	下桁材	1.20t	4本	4.8t
架台計					16.3t

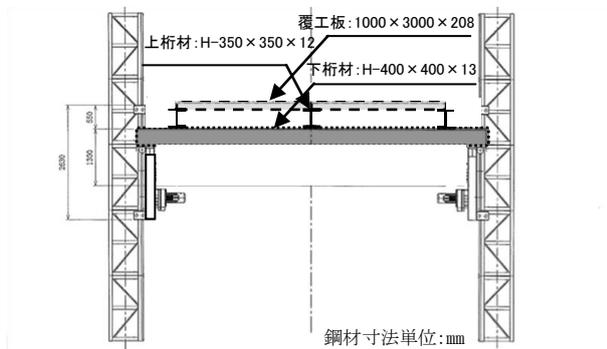


図-3 簡易 EV 架台

4. 簡易 EV 稼働実験による適用検証

4.1 概要

開発中の解体工法において重要な要素となる簡易EVの稼働実験を行った。

実際の工事では、1スパンに2対ないし3対設置する簡易EVの駆動機を、今回は、図-4に示すように四角支柱と仮設ビームで構成される1スパンのフレームに1対のみ設けて、稼働実験を行った。

検証項目としては、駆動機間の同期化精度、スラブ積載時の挙動、スラブ移動時の同期化精度、積載物上載時の同期化精度と挙動などがある。検証項目・方法を表-2に示す。

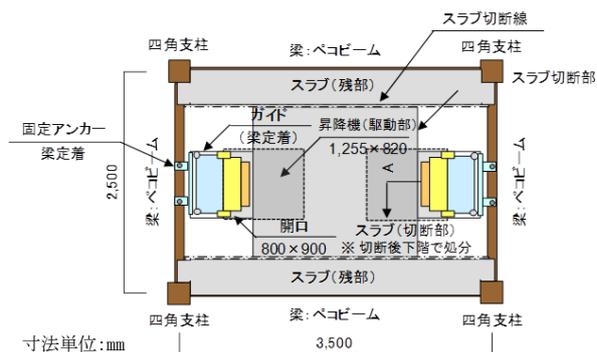


図-4 簡易 EV 稼働実験概要



写真-1 簡易 EV 稼働実験状況

表-2 測定項目・方法

測定項目	測定対象	摘要	備考	
駆動機間の同期化精度	傾斜角度	傾斜計	無載荷時	
スラブ積載時の挙動	荷重	ロードセル	スラブ積載	
スラブ移動時の同期化精度			傾斜角度	傾斜計
積載物上載時の同期化精度			傾斜角度	傾斜計

4.2 測定方法

① 駆動機間の同期化精度

簡易 EV の駆動機間の同期化の精度を確認した。

測定方法を図-5に示す。両駆動機の腕にそれぞれ溝形鋼を渡し、それらのウェブに線対称となるようにロードセルを2台ずつ載せ、その上に鋼板を渡し、その上にXY方向となるように、傾斜計を2台載せた。

駆動機を昇降させ、停止した位置での傾斜角度と荷重分布を確認した。昇降は、可動域を10往復し、各回につき上下で止まった位置での傾斜角と各点での荷重を記録した。

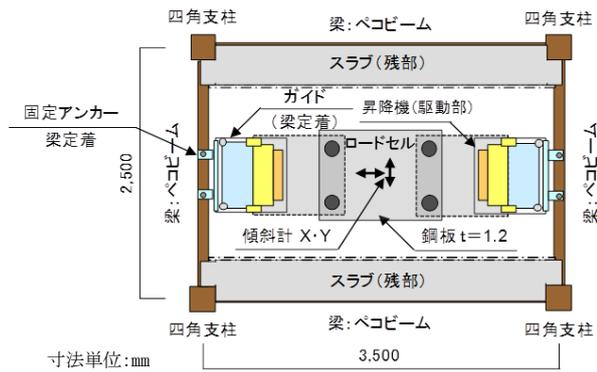


図-5 駆動機の同期化精度測定 (傾斜角)

② スラブ積載時の挙動

簡易 EV の駆動機にスラブ部材を載せた時の荷重分布と部材上面の傾斜を確認した。

測定方法を図-6に示す。駆動機は、①の状態から傾斜計を取り除き、鋼板が最上面となる状態とする。スラブ(切断部)を所定レベルに天井クレーンで保持し、駆動機を上昇させ、スラブに荷重が掛かる位置で駆動機を停止する。その後、天井クレーンを降下させたとき(ワイヤーを緩めたとき)の荷重分布と傾斜角度を確認する。

これを 10 回行い、各回につき、スラブを載せたときの荷重分布と傾斜角度を確認した。

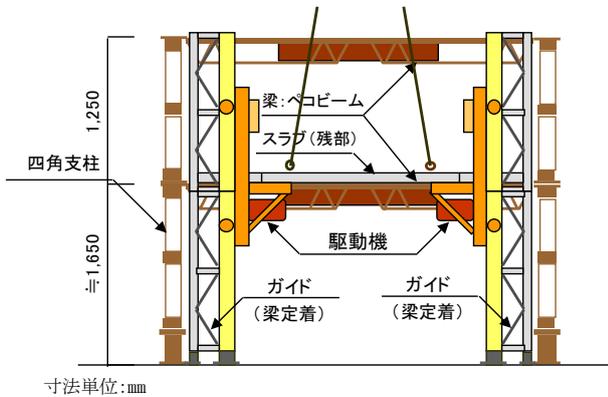


図-6 部材積載時の挙動測定 (荷重分布・傾斜角)

③ スラブ移動時の同期化精度

簡易 EV の駆動機にスラブ部材を載せた状態で、駆動機を昇降させた時の荷重分布とスラブ上面の傾斜を確認した。測定方法を図-7に示す。基本的には、天井クレーンの解放以外は、②と同様とする。両駆動機には溝形鋼を架台とし、線対称となるようにロードセルを4台載せる。その上に鋼板が載り、さらにその上にスラブ(切断部)が載った状態を初期状態とする。スラブ上面に XY 両方向となるよう傾斜計を設置し、駆動機の昇降時の荷重分布と傾斜角度を確認した。

昇降は、可動域を 10 回往復し、各回につき、上下位置での荷重分布と傾斜角度を記録した。

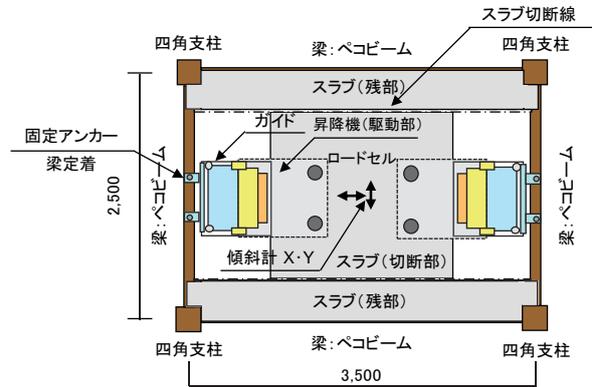


図-7 積載物上載時の同期化精度測定 (荷重分布・傾斜角)

④ 積載物上載時の同期化精度

簡易 EV の駆動機にスラブを載せ、さらにその上面に積載物をランダムに載せた場合の荷重分布とスラブ上面の傾斜を確認する。

測定方法は③と同様とする。スラブ上面に重量が明らかになっている積載物(土嚢袋詰めコンクリートガラ)を 10 個載せ、荷重分布と傾斜角度(中央 X・Y)を確認する。

その後、同数の積載物の配置を変えた状態で、荷重分布と傾斜角度(中央 X・Y)を確認する。これを 10 回繰り返す、その都度、傾斜角度(中央 X・Y)を確認する。

4.3 実験結果

① 駆動機間の同期化精度

簡易 EV の駆動機間の同期化の精度を確認する実験時の状況を写真-2および写真-3に示す。

図-8に、各回昇降停止時における荷重分布を、図-9に、同じく X・Y 方向の傾斜角度をそれぞれ示す。

荷重分布については、上昇後の停止時では、各点とも 0 ~ 0.005kN (= 5N) のばらつきがあるのに対し、降下後の停止時では、初期値からは 0 ~ 0.02kN (= 20N) のばらつきが見ら

れる。なお、図中の○のマークは、各点の荷重の合計を示しているが、最大・最小で0.015kN(=15N)のばらつきが見られる。

また、傾斜角度については、X・Y方向ともに0~0.02%、いずれも+側にばらつきが見られる。

いずれも無視できるばらつきではないが、他の稼動状態との比較により最終的に判断することとする。



写真-2 駆動部架台・傾斜計取付け状況



写真-3 駆動部架台・ロードセル取付け状況

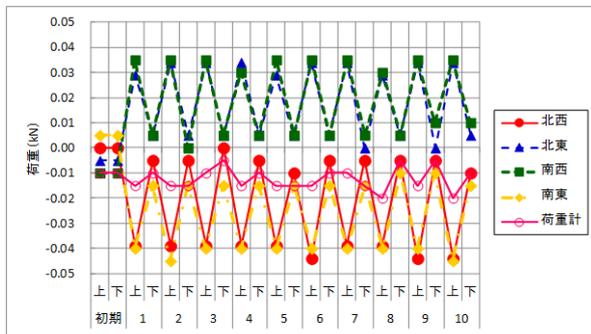


図-8 駆動機昇降時における荷重分布 (昇降10回分)

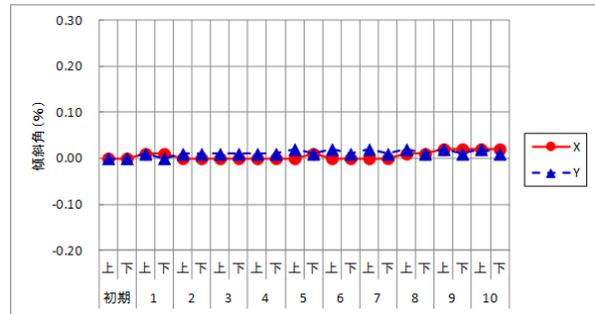


図-9 駆動機昇降時における傾斜角度の経時変化 (昇降10回分)

② スラブ積載時の挙動

簡易EVの駆動機にスラブ部材を載せた時の荷重分布と部材上面の傾斜角度を確認する実験時の状況を写真-4および写真-5に示す。

図-10に、各回のスラブ積載時における荷重分布を、図-11に、同じくX・Y方向の傾斜角をそれぞれ示す。

荷重分布については、各回とも各点における荷重および荷重の合計について、ほとんどばらつきは見られなかった。なお、実験時におけるロードセルによるスラブ荷重の表示は、9,545~9,592kNであり、クレーン装備の荷重計による実測値は9,261kNと差異が見られたが、今回はロードセルによる荷重値により相互比較を試みた。

また、傾斜角度については、2回目の積載からの戻り時にX・Y方向ともにやや大きい変動が見られたが、それ以降は特に目立つばらつきや異常は見られなかった。

これらより、全般的には、スラブの荷重を受けた程度では、駆動部の稼動や精度に対して大きな影響はないものと考えられる。

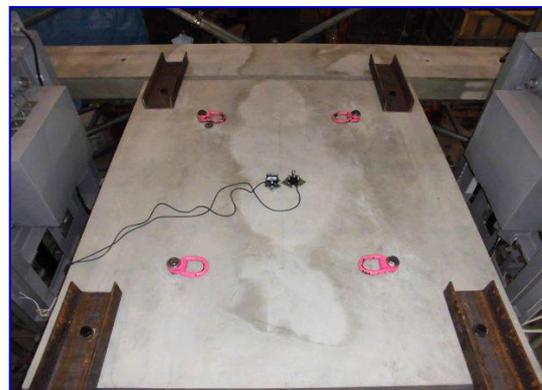


写真-4 スラブ定位置固定状態

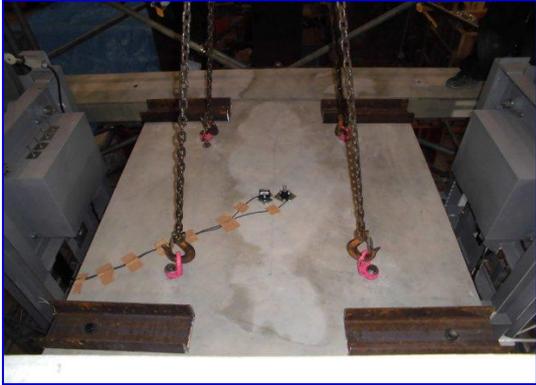


写真-5 スラブ積載状態

れるが、昇降の繰り返しに伴い、不定期かつ不規則な動きが見られる。これは、昇降に伴いロードセル上のスラブが微妙に移動し、偏心状態が変動しているためと考えられる。傾斜角度についても不定期かつ不規則な変動がやや見られるが、必ずしも荷重分布との連動は見られない。これは、測定位置の違いにより傾向が異なるものと考えられる。

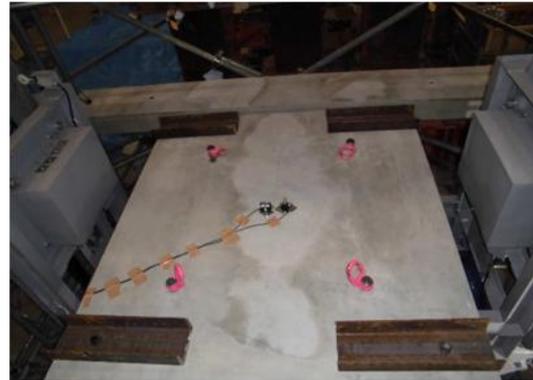


写真-6 スラブ積載時の同上面の状況

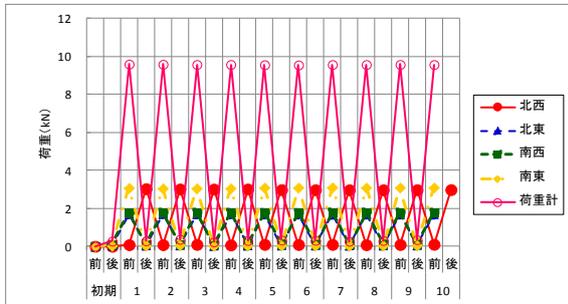


図-10 スラブ積載時における荷重分布 (積載10回分)



写真-7 スラブ積載時の実験状況(最上位置)

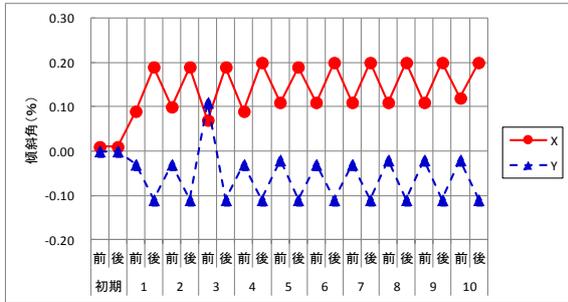


図-11 スラブ積載時における傾斜角度の経時変化 (積載10回分)

③ スラブ移動時の同期化精度

簡易EVの駆動機にスラブ部材を載せた状態で、駆動機を昇降させた時の荷重分布とスラブ上面の傾斜角度を確認する実験時の状況を写真-6および写真-7に示す。

図-12に、各回のスラブ移動時における荷重分布を、図-13に、同じくX・Y方向の傾斜角度をそれぞれ示す。荷重分布は、一律の傾向が見られないが、南東と北西、南西と北東が同調している(同じ+側)に荷重が示されるのが見てと

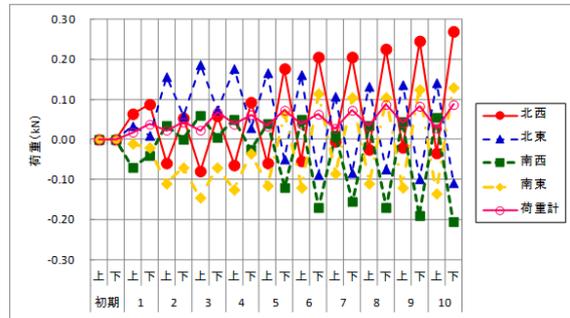


図-12 スラブ移動時における荷重分布 (昇降10回分)

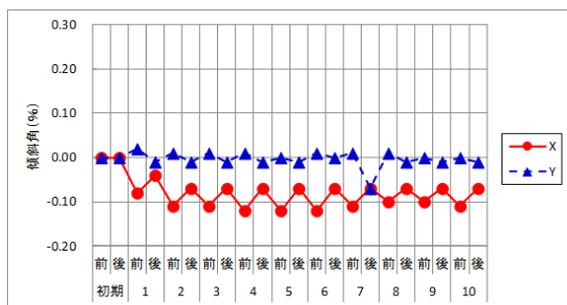


図-13 スラブ移動時における傾斜角の経時変化 (昇降10回分)



写真-11 3回目の積載物の配置状況

④ 積載時の同期化精度

簡易EVの駆動機にスラブを載せ、さらにその上面に積載物をランダムに載せた場合の荷重分布とスラブ上面の傾斜を確認する実験時における積載物の配置状態を写真-10～写真-14に示す。

荷重分布は、各回積載物の配置が異なるため一律の傾向は見られないが、全般的には南東と北西、南西と北東の対角同士のロードセルが同調している(同じ+側)に荷重が示される)のを見てとれる。積載物の全体荷重は3回目を除きほぼ1.0kN近傍を示しているが、これは積載物の測定荷重の合計1.05kNと概ね合致する。これらより、荷重分布は各ロードセルにより概ね正確に拾われているものの、積載物の偏心や各ロードセル周辺の荷重分布状態により微妙に変動しているものと考えられる。



写真-12 5回目の積載物の配置状況

なお、3回目の積載における全荷重の異常値は、X方向の傾斜角度にも同様の傾向が見られるものの、他の積載物の分布状態と比較してそれほど極端な偏心はないものと推察される。前者は上昇前に計測され、後者は上昇時に計測されていることから、降下後、定位置にもどる時点でやや偏心状態であったのが、積載物の移動により助長され、駆動機の上昇によりさらに増進されたものと推察される。



写真-13 7回目の積載物の配置状況

これらより、10回の繰り返しの中で、全体荷重は正值と概ね合致し、一部を除きほぼ一定値を示していることから、積載物の偏在は、駆動機の稼働状態に影響を及ぼすものではないと考えられる。



写真-10 1回目の積載物の配置状況



写真-14 9回目の積載物の配置状況

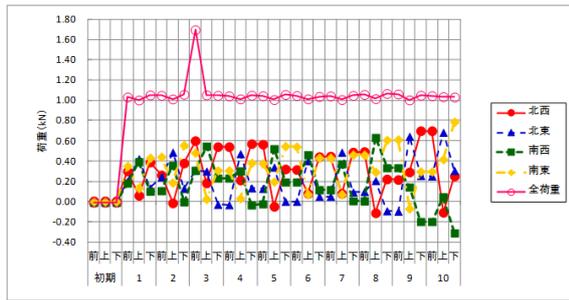


図-14 積載物上載時における荷重分布
(昇降10回分：各回配置替え)

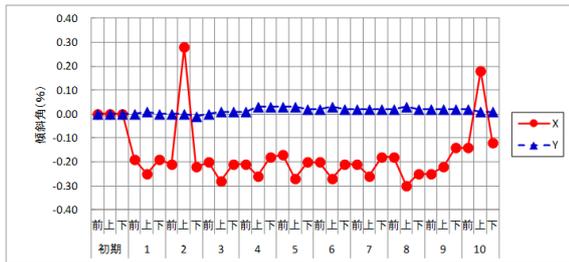


図-15 積載物上載時における傾斜角度の経時変化
(昇降10回分：各回配置替え)

5. 実大スラブ動的破碎実験

5.1 実験概要

建物解体時に、RC造スラブの鉄筋を切断できるよう露出する手法について検討した。今回は、RC造スラブとデッキスラブからなる実大試験体を作製し、スラブに破碎線を発生させ、引き続きスラブ筋を露出させる破碎実験を実施した。

先行破碎ラインと平行に斜め45°方向の装薬孔を設け、破碎ラインとの間の三角形断面部分を破碎し、スラブ筋を露出させることが可能かどうかを検証した。

5.2 実験方法

装薬は、図-16に示すように、先行破碎ラインから170mm程度離れた位置に、装薬孔を斜め45°方向に削孔し、スラブ厚さ150mmに対し、削孔深さを120mm程度とした。その先端に、破碎剤(NRC)20gと点火具をビニル管に詰めたものを挿入し、脚線を延伸し、遠隔操作により破碎した。

実大スラブ試験体の概要を図-17に示す。実施箇所は、RC部とデッキ部にわたり配置されている装薬孔4列の中3列で、装薬孔を250mm、300mm、400mmの各間隔で設け、破碎剤量はこれまでの実績により、破碎ライン形成用は25g、鉄筋露出用は20gとした。

破碎実験は、装薬孔間隔400mm、300mm、250mmの順序で行った。前2者については、装薬孔φ75mmの列を先行して破碎し、その後、斜め装薬孔φ25mmにより鉄筋露出用の破碎を行った。なお、装薬孔間隔250mmについては、それらを同

時に行った。

本節では、紙面の関係上、装薬孔間隔300mmの場合について、破碎の実施状況を説明する。

破碎ラインを先行して形成するため、ビニル管に詰めた破碎剤(写真-15)と点火具を装薬ホルダー(写真-16)に挿入し、@300間隔で設けたφ75の装薬孔に固定した。また、鉄筋露出用としてスラブ面で170mm離れた位置に破碎ラインと平行して装薬孔を設け、破碎ラインに向けて斜め45°の方向に削孔し、深さをスラブ面より120mmとした(写真-17)。装薬孔間の間隔は300mmとし、計7箇所とした。なお、先行破碎の装薬孔列の両端には、破碎誘導用としてφ30の空孔を設けた。

装薬は、NRCをビニル管に点火具とともに密閉し、脚線を装薬孔から延伸した状態とした。各装薬孔の最深部に密閉したNRCと点火具を挿入し、脚線を取り出した状態で、スラブ

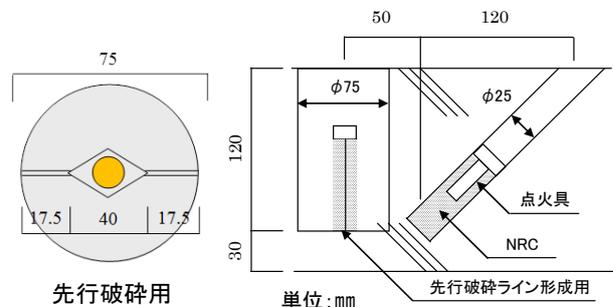


図-16 装薬方法：装薬孔と破碎剤の装填

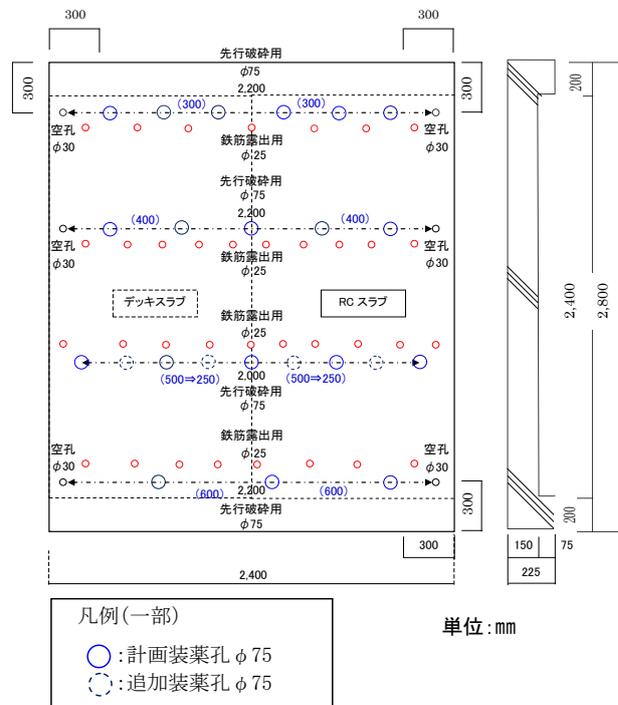


図-17 スラブ試験体概要

面でボイド状の型枠を固定し(写真-18)、速硬化の無収縮モルタルを注入し、スラブ面で装薬孔を硬化した無収縮モルタルで拘束できるようにした(写真-19)。

約1時間の養生後、各装薬孔の上に防爆シートを2重に敷き、その上にさらに防音シートを敷いて飛散防止と防音を図った(写真-20)。各装薬孔から延伸したリード線を約30m離れた位置の点火装置に接続し、最初に先行破砕ラインについて6箇所同時に動的破砕を試みた。

また、破砕位置より5m離れた高さ1mの位置で、破砕音を測定した。



写真-18 破砕ライン形成用(手前)と鉄筋露出用(向こう側)の装薬・型枠



写真-15 破砕ライン形成用 NRC 装薬状態(各管 25g)



写真-19 モルタル充填完了

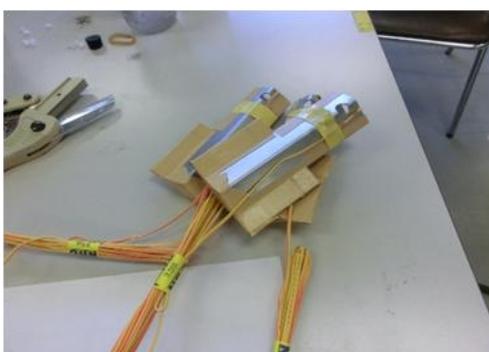


写真-16 破砕ライン形成用装薬ホルダー



写真-20 防爆・防音養生



写真-17 破砕ライン形成用(手前)と鉄筋露出用(向こう側)の装薬孔

5.3 実験結果

装薬孔間隔 300 mmとした先行破砕ラインは、ほぼ想定通り、装薬孔間を直線状に結ぶ貫通ひび割れとして形成された(写真-21)。RC 部側の一部に先行破砕ラインが貫通している箇所がスラブ上面からも伺えた。デッキ部側は、全般的にひび割れ幅は小さいが、スラブ裏はデッキがコンクリートから剥がれた状態であった(写真-22)。破砕状態から、先行破砕ライン形成に対して破砕剤 25g は適量と考えられる。

また、騒音測定結果を図-15に示すが、破砕時のピーク値は 104.2 dB(A)であった。



写真-21 破砕ライン形成 (RC 部側)



写真-23 破砕状態 (RC 部側)



写真-22 破砕ライン形成 (デッキ部・端部)



写真-24 破砕状態 (デッキ部側)

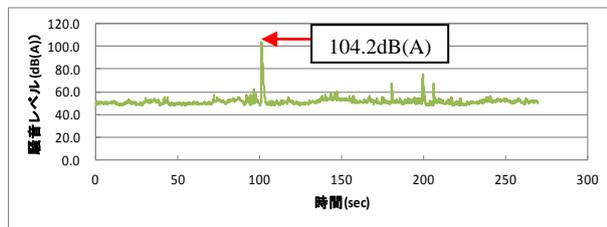


図-15 破砕音測定結果 (@300: 先行破砕)

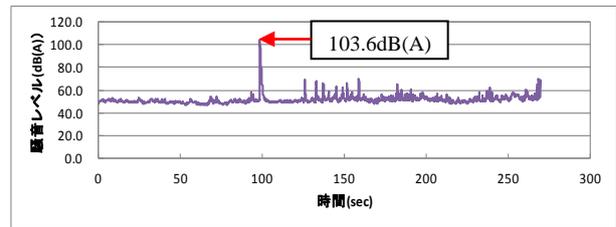


図-16 破砕音測定結果 (@300: 鉄筋露出)

先行破砕ライン形成後に、スラブの鉄筋露出を目的とする破砕を行った。

破砕は、先行破砕ライン(貫通)と鉄筋露出用装薬孔(斜め45°)の間の△断面部分を抉り取るような形状を示した。RC部側の一部に貫通していた箇所があり、鉄筋露出孔と反対側も剥離している状態であった(写真-23)。それに比較して、デッキ部の端部は、破砕に至らず、スラブ裏のデッキも縁が切れた状態で止まっていた(写真-24)。

破砕状態から、RCスラブの鉄筋露出用としては、各孔につき破砕剤20gは適量と考えられる。

また、騒音測定結果を図-16に示すが、破砕時のピーク値は103.6dB(A)であった。

実験結果の総括を表-3に示す。

今回の装薬条件(先行用:25g、露出用:20g)は、RC部においては、概ね想定された破砕状態であったが、デッキ部では、両孔間のコンクリートが装薬孔近傍しか破砕されず、方法を含めて必ずしも十分ではないものと判断される。なお、RC部に関しては、装薬孔の間隔が@400でも露出用装薬孔の間隔が適切であれば、問題なく破砕ラインが形成される。

また、破砕ライン形成用と鉄筋露出用を同時に破砕させてみたが、RC部は同孔間が全区間にわたり断面が▽状に抉り取られていたが、デッキ部は装薬孔周辺にしか破砕が発生しておらず、段発など、他の手法を検討する必要がある。

表-3 実験結果の総括

対象	装薬条件 破砕ライン 鉄筋露出	破砕 方法	破砕結果		
			場所	破砕状態	騒音 [dB(A)]
①	φ75@400 (各25g) φ25@200 (各20g)	破砕 ↓ 露出	RC	▽状に破砕	104.2
			デッキ	薄く剥離	103.5
②	φ75@300 (各25g) φ25@300 (各20g)	破砕 ↓ 露出	RC	▽状に破砕	104.2
			デッキ	薄く剥離	103.6
③	φ75@250 (各25g) φ25@200 (各20g)	同時	RC	▽状に破砕	104.4
			デッキ	孔別に破砕	

6. まとめ

6.1 簡易EV稼働実験

① 駆動機の同期化精度

簡易EVの駆動機自体の同期化の精度を確認した。駆動機を10回昇降させ、各回につき上下で停止した位置での荷重分布と傾斜角度を測定した。

荷重分布については、上昇後の停止時では、各点とも0~0.005kN(=5N)のばらつきがあるのに対し、降下後の停止時では、初期値からは0~0.02kN(=20N)のばらつきが見られた。また、各点の荷重の合計は、最大・最小で0.015kN(=15N)のばらつきが見られた。傾斜角度については、X・Y方向ともに0~0.02%、いずれも+側にばらつきが見られた。

いずれも無視できるばらつきではないが、駆動機の移動に伴い、荷重分布、傾斜角ともに、微妙な動きが伴うことによる影響と推察される。

② スラブ積載時の挙動

簡易EVの駆動機にスラブ部材を載せた時の荷重分布と部材上面の傾斜を確認した。スラブ部材の駆動機への載せ掛け(天井クレーン・ワイヤーの解放)を10回行い、各回につき、スラブを載せたときの荷重分布と傾斜角度を確認した。

荷重分布については、各回とも各点における荷重および荷重の合計について、ほとんどばらつきは見られなかった。なお、実験時におけるスラブ荷重の表示は、実測値の9.261kNに対し9.545~9.592kNであった。傾斜角度については、2回目の積載からの戻り時にX・Y方向ともにやや大きい変動が見られたが、それ以降は特に目立ったばらつきや異常は見られなかった。

全般的には、スラブの荷重を受けた程度では、駆動部の稼働に大きな影響はないものと考えられる。

③ スラブ移動時の同期化精度

簡易EVの駆動機にスラブ部材を載せた状態で、駆動機

を昇降させた時の荷重分布とスラブ上面の傾斜角度を確認した。駆動機は、可動域を10回昇降し、各回につき最上下位置での荷重分布と傾斜角度を記録した。

荷重分布は、一律の傾向が見られないが、南東と北西、南西と北東が同調している(同じ+側)に荷重が示される)のが見てとれるが、昇降の繰り返しに伴い不規則の動きが見られる。これは、昇降に伴いロードセル上のスラブが微妙に移動し、偏心状態が変動しているためと考えられる。傾斜角についても不規則かつ不規則な変動が見られるが、必ずしも荷重分布との連動は見られない。これは、測定位置の違いにより傾向が異なるものと考えられる。

④ 積載物上載時の同期化精度

簡易EVの駆動機にスラブを載せ、さらにその上面に積載物をランダムに載せた場合の荷重分布とスラブ上面の傾斜を確認した。スラブ上面に、重量が明らかになっている10個の積載物を全数載せ、荷重分布と傾斜角度を確認した。各回につき積載物の配置を替え、これを10回繰り返し、その都度、荷重分布と傾斜角度を確認した。

荷重分布は、各回積載物の配置が異なるため一律の傾向は見られないが、全般的には対角同士のロードセルが同調しているのが見てとれる。積載物の全体荷重は、3回目を除きほぼ1.0kN近傍を示しているが、これは積載物の測定荷重の合計1.05kNと概ね合致する。

これらより、10回の繰り返しの中で、全体荷重は正值と概ね合致し、一部を除きほぼ一定値を示していることから、積載物の偏在は、駆動機の稼働状態に影響を及ぼすものではないと考えられる。

6.2 スラブ破砕実験

今回の装薬条件(先行用:25g、露出用:20g)は、RC部においては、概ね想定された破砕状態であったが、デッキ部では、両孔間のコンクリートが装薬孔近傍しか破砕されず、方法を含めて必ずしも十分ではないものと判断される。なお、RC部に関しては、装薬孔の間隔が@400でも露出用装薬孔の間隔が適切であれば、問題なく破砕ラインが形成される。

また、破砕ライン形成用と鉄筋露出用を同時に破砕させてみたが、RC部は同孔間が全区間にわたり断面が▽状に抉り取られていたが、デッキ部は装薬孔周辺にしか破砕が発生しておらず、段発など、他の手法を検討する必要がある。

【謝辞】

簡易EV稼働実験に関しては、三成研機(株)の浅野毅氏と小久保富治氏に、またスラブ破砕実験に関しては、熊本高専の中村裕一特任教授、カヤク・ジャパン(株)の中村聡磯氏、(株)相模工業の長野正幸氏に、それぞれ多大なる御協力と御尽力をいただきました。ここに深く謝意を表します。