

スタッドジベルを有する

鋼合成桁コンクリート床版撤去技術に関する研究

呉工業高等専門学校
呉工業高等専門学校
極東興和株式会社

○ 石川 穂乃花
重松 尚久
下野 聖也

1. はじめに

近年、高速道路リニューアルプロジェクト(大規模更新・修繕事業)の進捗に伴い、非合成桁橋と同様に合成桁橋において、損傷が進んだ鉄筋コンクリート床版をより耐久性の高いプレストレスコンクリート床版に取り替える床版取替工事が全国各地で本格化している。床版取替工事で部分更新される橋梁は、主に合成桁と非合成桁に分類される。そのうち、合成桁橋は、鉄筋コンクリート床版と鋼桁をずれ止め(スタッドジベル)で結合し、様々な荷重に対して一体となって挙動するよう設計された構造である。合成桁橋には、構造上ずれ止めが密に配置されていることから、非合成桁橋と比較して既設床版の撤去作業に要する施工期間や費用を要するなどの課題がある。そこで、本研究では合成桁の橋梁の既設床版を効率的に撤去する方法を検討することを目的とし、既存床版を鋼桁から離脱させる際の大きな抵抗となるスタッドジベルに着目した。

2. 研究概要

図-1 に鋼合成桁橋におけるスタッドジベルの配置図を示す。スタッドジベルは、鋼桁上に3~4本ずつ横に並べた群を1組として配置され、配置間隔は活荷重作用時の鋼桁と床版の界面に発生する水平せん断力に依存して、決定されている。コンクリート床版を撤去する際、スタッドジベル特有の形状である先端部分の突起形状(スタッドジベル頭部)が大きな抵抗になることが推察される。

合成桁橋の既設床版撤去は、床版を複数のブロックに小分けに切断して鋼桁上の床版以外を撤去した後、鋼桁直上の床版をハンドブレイカー等により破砕し、鋼桁上に残存したスタッドジベルを切断する方法¹⁾が一般的である。また、既往の工法では、床版下からコア削孔もしくはウォールソーによりスタッドジベルを切断して鋼桁と床版を剥離撤去する工法¹⁾やワイヤーソーを用いて鋼桁直上の床版とスタッドジベルを一括で切断して撤去する工法²⁾が開発されているが、いずれの工法も床版下での作業および鋼桁直上に残存するコン

クリート撤去作業が必要となる。そこで、コンクリート床版上面からウォールソーを床版面に対して斜めに設置してスタッドジベル頭部のみを切断し、ジャッキアップによって床版を撤去する工法の開発に着手した。図-2 に本工法の床版撤去概要を示す。本工法を採用することで、床版を小分けにすることなく一括で撤去可能となり、コンクリートの破砕作業を大幅に削減することが可能となる。さらに、スタッドジベル頭部の切断作業とジャッキアップによる撤去作業を並行して実施できるため、撤去に要する時間を短縮することが可能となる。

本研究では、前述の工法の実現化に先立ち、スタッドジベル頭部を切断した場合の床版引き抜き抵抗を確認した。さらに、スタッドジベルは通常桁に対して垂直に溶接されるが、溶接作業はすべて手作業で行われるため、実際の設置状態は鋼桁に対して傾斜して溶接されている可能性もある。そこで、スタッドジベルの溶接精度が床版引き抜き時の抵抗に及ぼす影響も併せて確認した。

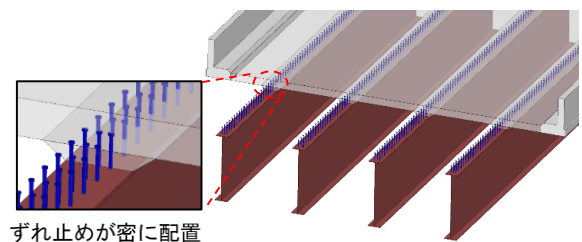


図-1 スタッドジベル配置図

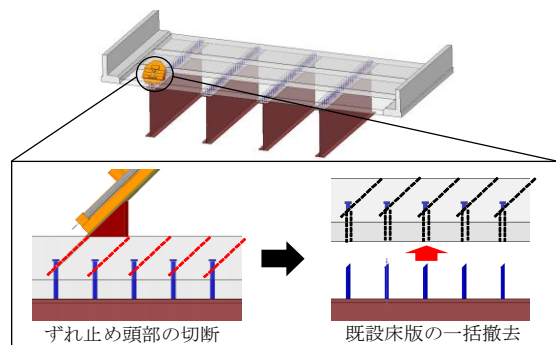


図-2 床版撤去概要図

3. スタッド頭部の有無に着目した引抜実験

ここでは、スタッドジベルを埋設した供試体 BASE01 とスタッドジベルの頭部を切断した供試体 CASE01 の実物大要素実験について述べる。

3.1 製作供試体

床版取替を実施する橋梁の建設時のコンクリート強度を想定し、 24N/mm^2 のコンクリート内にスタッドジベル ($\phi 22\text{mm} \times 150\text{mm}$) を 3 本配置し、床版に見立てたコンクリート供試体 ($700\text{mm} \times 1,000\text{mm} \times 350\text{mm}$) を 2 基 (BASE01, CASE01) 製作した。埋設するスタッドジベルは鋼桁に見立てた金属に溶接し、引抜き時の挙動確認のため、溶接部 3 本の根元に表裏 2 カ所、計 6 カ所にひずみゲージを設置した。両者の供試体とも型枠内に鉄筋及びスタッドジベル、鋼棒挿入用のシースを設置後、コンクリートを打設した。表-1 にコンクリートの配合設計を示す。硬化後、CASE01 は油圧式ウォールソーを 45 度に傾けて設置し、供試体正面からスタッドジベルの頭部を切断した。写真-1 に切断時の状況を示す。

3.2 実験装置

図-3 に引抜試験の実験装置の概要図を示す。供試体はスタッドジベルを溶接した鋼板と油圧ジャッキを設置するための架台を添接板とボルトにより接合し、コンクリート表面及び鋼桁に見立てた鋼板の表面に 2 基ずつ変位計を設置した。油圧ジャッキで引張力を上昇させ、各ジャッキにスタッドジベル引抜き時に発生する引張力を測定するた

表-1 コンクリートの配合設計

水セメント比 W/C (%)	85	
細骨材率 s/a (%)	52	
単位量 (kg/m ³)	水	190
	早強セメント	224
	細骨材	987
	粗骨材	924



写真-1 ウォールソーによる頭部切断の様子

表-2 ひずみゲージ・変位計設置位置

項目	取付位置	設置場所
ひずみゲージ	スタッドジベル 付け根部 (表・裏)	Sd-1~6
	コンクリート表面	H1,H3
変位計	スタッドジベル	H2,H4
	溶接鋼板	

※計測結果はそれぞれの取付位置の平均値で整理する

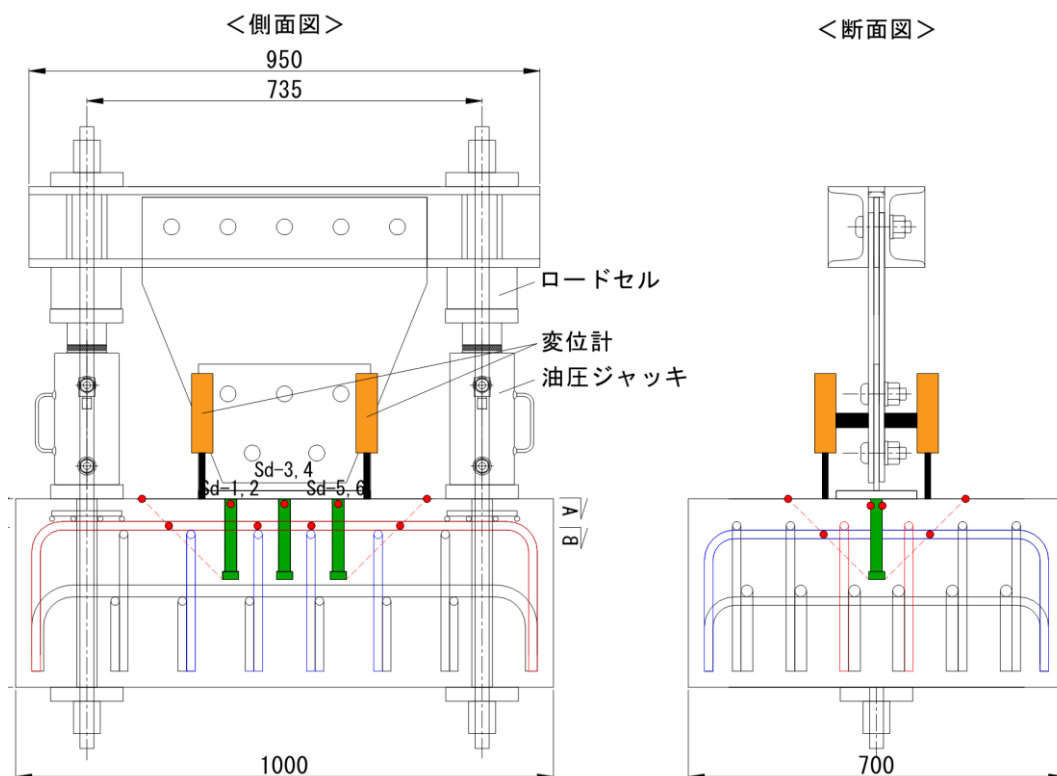


図-3 実験装置概略図

めに、ロードセルを設置した。表-2 にひずみゲージ貼付位置と変位計設置位置を示す。

3.3 実験方法

実際の床版撤去作業ではコンクリート床版を引き上げることで鋼桁から剥離させるが、実験装置の制約により今回の実験では、スタッドジベルを引き上げてコンクリートから剥離する方法を採用した。コンクリート上部に2か所設置した油圧ジャッキにより、スタッドジベルを引き上げる。油圧ジャッキによる引張力はロードセルによって計測する。コンクリート表面及びスタッドジベルを溶接した鋼板の上部に設置した変位計により、引張による両者の変位を計測する。またスタッドジベルに貼付したひずみゲージにより、スタッドジベルの挙動を測定した。なお、実験は施工現場と同様に荷重制御で行なった。

3.4 実験結果

(1) 最大引抜力

引抜試験における最大荷重を最大引抜力とした表-3 に実験結果を示す。供試体の最大引抜力は標準供試体 BASE01 が 202.4kN に対し、スタッドジベルの頭部を切断した CASE01 は 16.7kN である。BASE01 と比較すると、約 1/10 以下の引抜力でコンクリートを引抜き可能であることが分かった。これはスタッドジベルの頭部を切断することでスタッドジベルのせん断抵抗面における付着抵抗が少なくなり、コンクリートとスタッドジベルが付着切れを起こしたことが要因であると考えられる。

(2) 引抜力とスタッドジベルのひずみの関係

写真-2 に BASE01 と写真-3 に CASE01 の試験後のコンクリート供試体の様子を示す。BASE01 は供試体の表面のコンクリートが浮き上がっていることから、スタッドジベル周辺のコンクリートを巻き込みながら破壊していることが推測される。しかし、頭部を切断した CASE01 は、コンクリートの表面には大きな変化が見られない。

図-4 に BASE01 と図-5 に CASE01 の引抜力とスタッドジベルのひずみの関係を示す。ひずみの最大値が大きく異なるため、推移が分かりやすいようスケールを変えている。両者とも引抜開始後、最大引抜力に達するまで線形的にひずみが増加している。最大引抜力到達後、ひずみの推移に差異が生じ始める。BASE01 では、最大引抜力到達後、緩やかにひずみは減少していく。これは、引抜力を加えるとスタッドジベル周辺のコンクリートが破壊されるからであると考えられる。一方、CASE01 は最大引抜力到達後もひずみが増加し続けている。これは、スタッドジベルには、コンクリートとの付着抵抗のみしか発生しないため、BASE01 と異なりコンクリートや鉄筋の影響を受けずにスタッドジベルが引抜けたと考えられる。

表-3 実験結果

実験ケース	BASE01	CASE01
スタッドジベルの形状	標準	頭部切断
最大引抜力 (kN)	202.4	16.7



写真-2 引抜試験後の供試体 (BASE01)

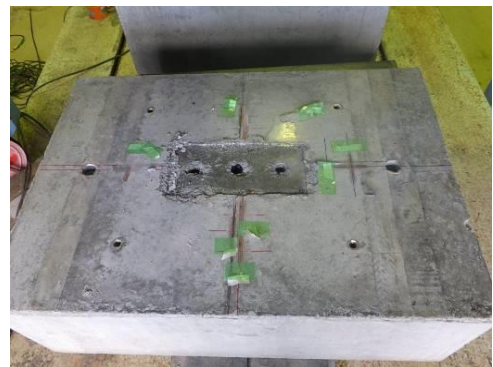


写真-3 引抜試験後の供試体 (CASE01)

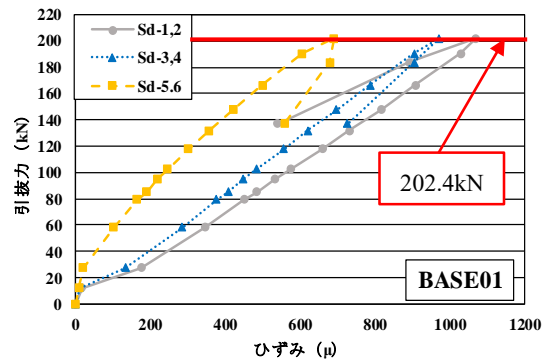


図-4 引抜力とスタッドジベルのひずみの関係 (1)

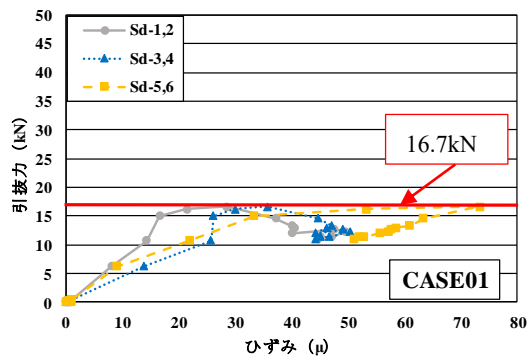


図-5 引抜力とスタッドジベルのひずみの関係 (2)

また、写真-4 に引抜試験後の頭部を切断したスタッドジベルを示す。スタッドジベルにコンクリートが付着していないことから、スタッドジベルの頭部を切断することにより、コンクリートに影響を与えることなく引抜き可能であることが確認できる。

(3) 引抜き力と変位の関係

図-6 に変位計設置位置、図-7 に引抜き力と変位の関係を示す。変位はコンクリート表面とスタッドジベルを溶接した鋼板上の対角に配置した変位計 2 基の平均値とする。コンクリート表面に設置した変位計 (H1, H3) は BASE01, CASE01 の両者とも 0.5mm 以下で推移しているため、引抜く際のコンクリート表面への影響は極めて少ないと考えられる。次に、スタッドジベルに溶接した鋼板に設置した変位計 (H2, H4) の結果に着目すると、BASE01 は最大引抜き力を超えると引抜き力が減少しながら、変位が増加している。これはスタッドジベルが抜け始めるとコンクリートが破壊し、鉄筋の影響により、スタッドジベルの挙動が制限されるからである。一方で CASE01 の変位の推移は最大引抜き力到達後、変位が急激に上昇している。これは、周辺のコンクリートの影響を受けず、スタッドジベルの付着力のみで抵抗しており、小さい引抜き力ですべて引抜けたと考えられる。

4. 溶接誤差に着目した引抜き実験

ここでは、スタッドジベル溶接の施工誤差がコンクリートの引抜きにどのような影響をあたえるかスタッドジベルの傾斜の向きと傾きの角度を変化させた供試体で実験する。

4.1 製作供試体

表-3 に本実験で用意したスタッドジベルの傾斜パターン、図-8 にスタッドジベル平面図の一例を示す。本実験では鋼桁に見立てた鋼板に丸鋼を 3 本溶接することで、スタッドジベルを既に切断したものと想定した供試体を用いた。用意したスタッドジベル (φ22mm×150mm) は丸鋼を鋼板に対して垂直に溶接したものを標準供試体とし、鋼板に対して同じ方向に傾かせて溶接したもの、スタッドジベルの端の 2 本を供試体正面から見て左右に傾かせて溶接したもの、端の 2 本を供試体の上面から見て前後方向に傾かせて溶接したものをそれぞれ傾き (溶接誤差) が 5mm と 10mm の計 7 つの

表-3 スタッドジベルの傾斜パターン

傾き (mm)	5	10
同じ方向に傾斜	CASE01	CASE04
両端が外側に傾斜	CASE02	CASE05
前後方向に傾斜	CASE03	CASE06

※BASE01 を標準供試体とする



写真-4 頭部を切断したスタッドジベル

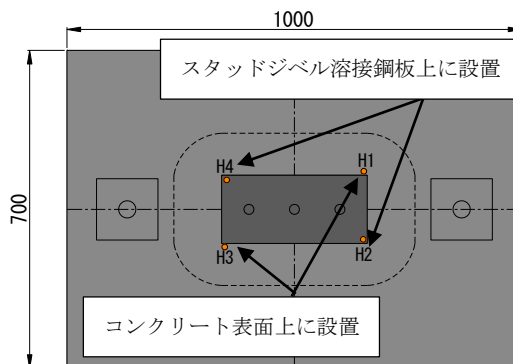


図-6 変位計設置位置

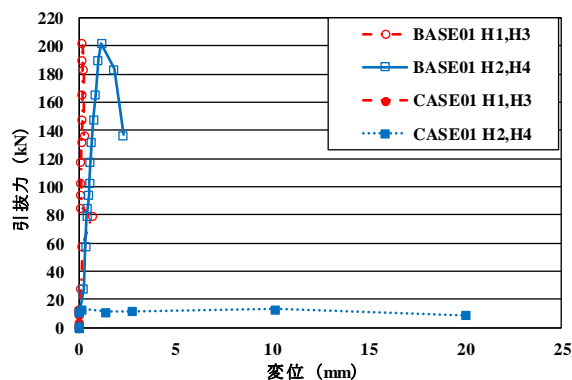


図-7 引抜き力と変位の関係

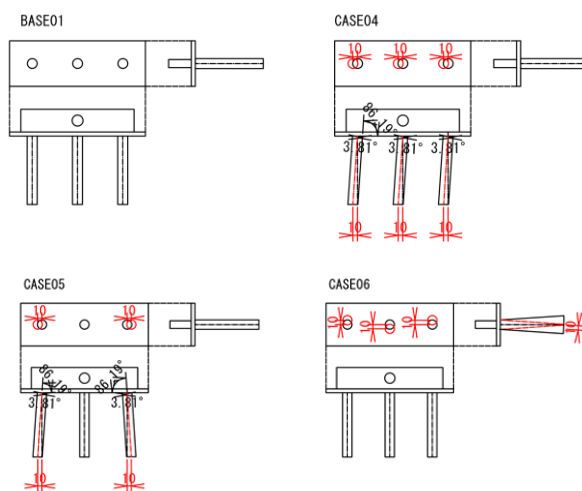


図-8 スタッドジベル平面図の一例

種類を用意した。このスタッドジベルを供試体（φ370mm×173mm）に埋設し、硬化させた。表-4にコンクリートの配合設計を示す。コンクリートは前述の実験と同様に 24N/mm² を目標強度とした。

4.2 実験装置

写真5に実験装置を示す。テーブル（φ700mm×1,750mm）にスタッドジベルの突起部が上面になるよう供試体を設置し固定した。その後、スタッドジベルを溶接した鋼板に開けた穴と実験装置をシャックルで接合した。前述の実験と同様にコンクリート表面及び鋼桁に見立てた鋼板の表面に変位計を設置し、油圧ジャッキで引張力を上昇させ、引抜力測定のため、ロードセルを設置した。



写真-5 実験装置

4.3 実験方法

実験装置に取り付けた供試体を油圧モーターで引き上げて、ロードセルによって、引抜力を測定した。また、前述の実験と同様にコンクリート表面及びスタッドジベルを溶接した鋼板の上部に2基ずつ設置した変位計により、両者の変位を計測し、3本のスタッドジベル表裏に貼付したひずみゲージにより、スタッドジベルのひずみを測定した。なお、実験は施工現場と同様に荷重制御で行なった。

4.4 実験結果

(1) 最大引抜力

最大引抜力の実験結果を示す。紙幅の都合上、傾斜パターンと傾き（溶接誤差）が異なる比較を示し、その他は割愛する。図-9に傾斜パターンによる最大引抜力の比較を示す。傾斜がないBASE01と傾斜が異なるCASE01, CASE02, CASE03について最大引抜力を比較すると、CASE02, CASE03が大きくなっている。これは、傾斜方向が異なるCASE02, CASE03は付着が切れた後も鋭角側のコンクリートを破壊しながら引き抜かれる。傾斜方向が同じCASE01はこの影響が小さいため、最大引抜力が小さくなったと考えられる。

図-10に傾きによる最大引抜力の比較を示す。傾き（溶接誤差）が異なるパターンを比較すると傾きの角度に関わらず、ほぼ同様な最大引抜力が出ると確認できる。本実験ではコンクリート強度にばらつきが生じてしまった。図-11に圧縮強度ごとの最大引抜力の比較を示す。コンクリート強度により比較すると、コンクリート強度が大きい供試体での最大引抜力は大きくなる傾向が見られた。これは傾きや傾斜パターンにかかわらず、同様な結果が得られた。このことから、今回設計したコンクリート強度付近の供試体の最大引抜力は溶接精度にあまり関連がないが、コンクリート強度は最大引抜力に影響を与えたと考えられる。

(2) 載荷時間とスタッドジベルのひずみの関係

引抜荷重載荷プロセスにおけるひずみの関係からスタッドジベルの挙動について考察する。図-12

表-4 コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	71	
細骨材率 s/a (%)	48	
単位量 (kg/m ³)	水	192
	普通セメント	270
	細骨材	848
	粗骨材	993

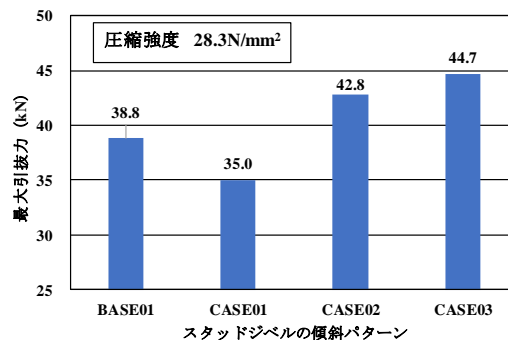


図-9 傾斜パターンによる最大引抜力の比較

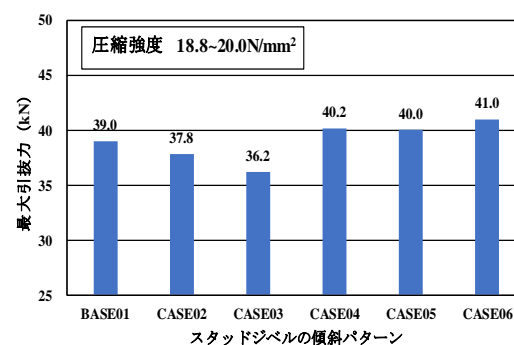


図-10 傾きによる最大引抜力の比較

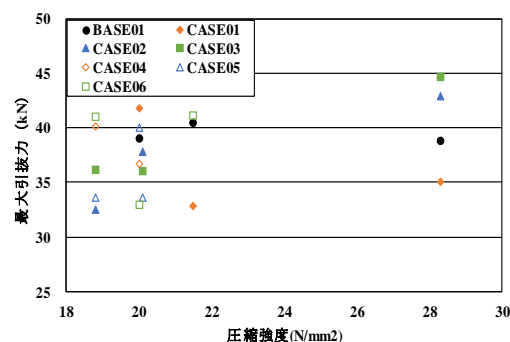


図-11 圧縮強度ごとの最大引抜力の比較

に、一例として CASE04 のスタッドジベルのひずみと荷重時間の関係を示す。まず、真ん中に位置するスタッドジベルのひずみ Sd-3,4 が増加し始め、後から両端のスタッドジベルのひずみ Sd-1,2, Sd-5,6 が増加し始めた。これは、中央に位置するスタッドジベルの真上から力を加えていったことが原因だと考えられる。荷重開始から緩やかに増加していたひずみがある点で増加量が大きくなる。これは上部のプレートがコンクリートから剥離し、スタッドジベルの付着力だけで引抜力に抵抗しているためだと考えられる。最大引抜力が近づくと、すべてのひずみの大きさが等しい値に近づき、スタッドジベルがコンクリートから抜け始めるためひずみゲージが断線し、その後測定不能になる。すべての供試体において同様な傾向を示した。

写真-5 に、一例として引抜き後の供試体の端 2 本のスタッドジベルが反対方向に傾斜している CASE05 のスタッドジベル引抜き後の供試体の断面を示す。両端のスタッドジベルの孔が供試体上面に近づくにつれ、径が大きくなっていることが確認できる。これより、スタッドジベルに傾きがあるものは付着が切れた後、スタッドジベルがコンクリートを破壊しながら抜けることが判明した。

(3) 荷重時間と変位の関係

図-13 に、一例として CASE04 の荷重時間とコンクリート表面および鋼板上部に取り付けた変位計の変位の関係を示す。スタッドジベルの抜け出しが始まるまでは、コンクリート表面と鋼板の変位の履歴はほぼ重複している。その後、荷重時間の経過とともにスタッドジベルの変位がコンクリート表面の変位をわずかに上回って推移している。これは引抜荷重の増加に伴って固定装置が変形し、供試体が加力方向へ移動したためである。最終的に、ある時点で鋼板の変位が急激に増加しスタッドが抜け出した。すべての供試体において同様な傾向を示した。

5. 結論

- (1) スタッドジベル頭部を切断することで、切断していない供試体と比較して、約 1/10 以下の小さい引抜力でコンクリートから引抜ける。
- (2) 橋梁における建設時のコンクリート強度付近のスタッドジベルを引抜く際、スタッドジベルの傾き（溶接誤差）が異なっても最大引抜力への影響は少なかった。また、スタッドジベルの傾斜方向が異なれば、最大引抜力に影響をあたえることが分かった。
- (3) コンクリート強度が設定した強度 (24.0N/mm²) より大きいものに関してはスタッドジベル周辺のコンクリートを破壊する力が増加するため、最大引抜力も大きくなる。

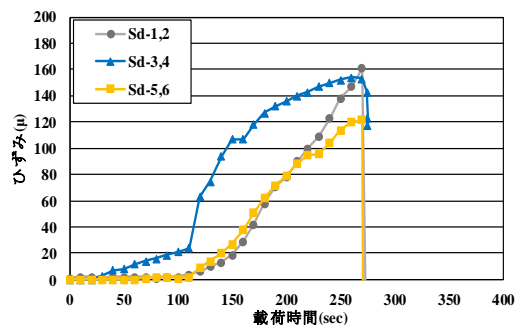


図-12 スタッドジベルのひずみと荷重時間の関係

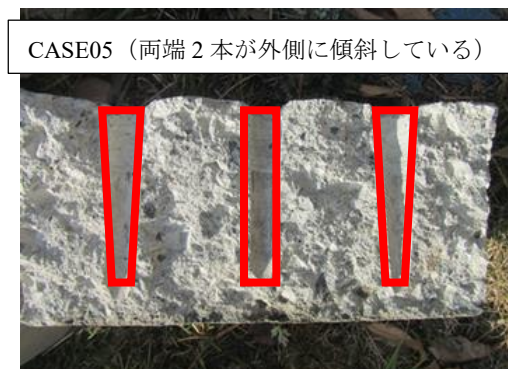


写真-5 スタッドジベル引抜き後の供試体の断面

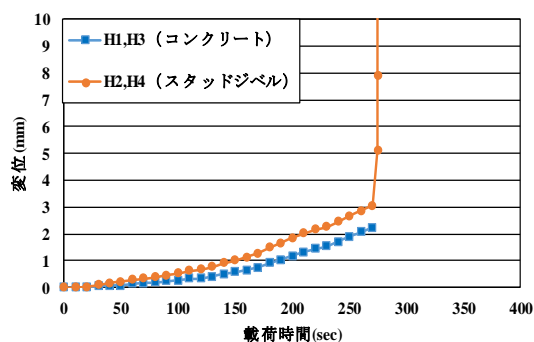


図-13 変位と荷重時間の関係

6. 今後の展望

筆者らは、本工法実用化のために実際に撤去する床版と同等規模の供試体を製作して、スタッドジベル頭部の切断から床版剥離・撤去までの一連の作業性を確認する実験を実施し、コンクリート本体が曲げ破壊することなく一括撤去可能であることを確認している。今後は、本工法をさらに効率的に実施するため、スタッドジベルの床版上面からの位置出し作業や頭部切断有無の確認の合理化に向けて検討・検証を進めていく。

参考文献

- 1) 土木学会:鋼構造シリーズ33 鋼道路橋 RC床版更新の設計・施工技術,pp.239-246,2020.
- 2) 宮地エンジニアリング株式会社:M-SR システム (<https://www.miyaji-eng.co.jp/pdf/msr.pdf>)

2022年8月17日参照