床版撤去プロセス効率化の取り組み

清水建設（株）　正会員　○吉浦伸明
清水建設（株）　正会員　髙島英一
清水建設（株）　正会員　北村　裕
清水建設（株）　正会員　杉本　高

１．はじめに

高度成長期に整備された道路橋床版は，経時的な劣化に加え大型車両の増加及び凍結防止剤の散布等により損傷が激しく，床版取替などの更新工事が進められている．

鋼桁とコンクリート床版が一体化した合成桁の床版取替工事では，既設コンクリート床版撤去に要する時間が全体の約 3 割を占める．工事全体の生産性向上には，この作業の効率化が不可欠である．

合成桁における従来の床版撤去プロセスは以下の 4 つの作業 STEP で構成される．STEP①：桁間のコンクリート床版を垂直に切断して先行撤去，STEP②：桁上に残るコンクリート床版をワイヤーソーで水平切断，STEP③：桁上コンクリート床版を撤去，STEP④：桁上に残ったコンクリートをウォータージェットで撤去**（図-1）**．STEP②ではワイヤーソーの緩みに起因する桁の損傷を防ぐため，桁上面から 50mm 程度コンクリートを残して切断する必要があった．

従来の撤去プロセスの作業効率を高めるための課題として，「切断作業時間の短縮」「桁上残コンクリート除去量の削減」「切断装置の分解組立時間短縮」「作業ステップの削減」が挙げられる．

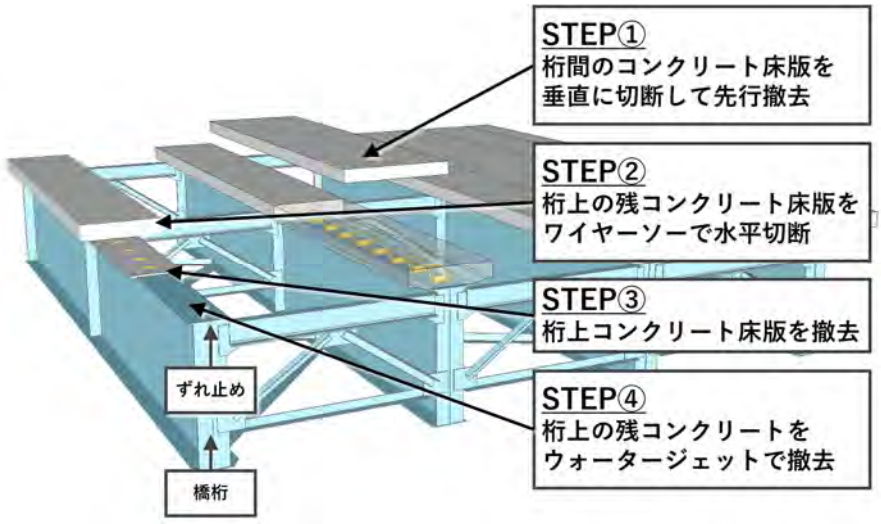


図-1 合成桁における従来の床版撤去の作業 STEP

また，床版補強や道路拡幅を目的に設置された増設桁上の床版や，多様なハンチ形状を有する床版を切断する場合もあり，これら現場条件に応じて複数の切断工法を開発する必要があった．

本稿では，撤去プロセス作業効率向上を実現し，かつ様々な現場条件に対して選択可能な 3 つの切断工法，「ダブルワイヤーソー工法」，「ダブルワイヤーソー二桁同時切断工法（以下 DWS 二桁同時切断工法）」，「床版クールカット工法」の開発事例について，切断工法の開発概要，それぞれの工法概要と実証実験結果，適用工事記録を示し，各工法の技術的特徴を紹介する．あわせて，撤去プロセスの別の生産性向上事例として，自動マーキングロボットを用いた，床版切断墨出し作業の省力化について紹介する．

キーワード　床版取替，床版切断，ワイヤーソー，省人化，施工合理化
連絡先　〒104-8370　東京都中央区京橋二丁目 16 番 1 号 清水建設株式会社 橋梁統括部　TEL 03-3561-3869

２．開発概要

合成桁における床版撤去工事の効率化のため，「切断速度の向上による作業時間短縮」，「切断精度向上による残コンクリート厚の低減」，「切断装置のユニット化による分解組立時間短縮」，さらに「桁間床版の撤去作業の削減もしくは不要とすることによる作業 STEP の低減」を開発目標として設定した．

開発のステップとして，まず「切断速度向上」，「切断精度向上」，「作業中のダイヤモンドワイヤーの張力調整」，「作業中の油圧制御によるプーリー位置変更」など，要素技術の開発・検証を行った．

次に開発した要素技術と既存技術の組み合わせにより，「ダブルワイヤーソー工法」を確立した．さらに「ダブルワイヤーソー工法」の技術は，二桁同時の床版切断を可能とする「DWS 二桁同時切断工法」に展開した．

「床版クールカット工法」は，水平・鉛直切断の双方に対応できるユニット型のワイヤーソー切断装置「基礎躯体クールカット」を使用した．床版切断方法の開発・検証を行い，本装置を用いて床版ブロックを橋軸直角方向に水平切断する技術を確立した．

各工法の切断技術を確立したのち，現場実装に向けて湿式・乾式切断工法の適用など実証実験を行った．

３．切断工法の概要と実証実験結果

本章では，以下の 3 工法の概要と実証実験結果について紹介する．

（１） ダブルワイヤーソー工法

ダブルワイヤーソー工法は，二つの駆動プーリーを有するワイヤーソーイング工法である．ワイヤーは縦置きした駆動プーリーから両側に設置したガイドバー，先端に取り付けたガイドプーリーを通って，床版を横断してループ状となり，円周方向に回転する**(写真-1，2)**．切断機を床版上の走行レールと走行台車を用いて橋軸方向に走行させ，ガイドプーリー間のワイヤーが床版に接することにより切断する．本工法の特徴は①二つの駆動プーリーを用いることによる高速切断，②ガイドプーリーで切断高さを保持することによる高精度切断，③レール上を走行するため機械盛替が不要，④一体化ユニットのため組立解体時の事故発生要因も低減，⑤床版下での事前作業不要による安全性の向上が挙げられる．[1)]

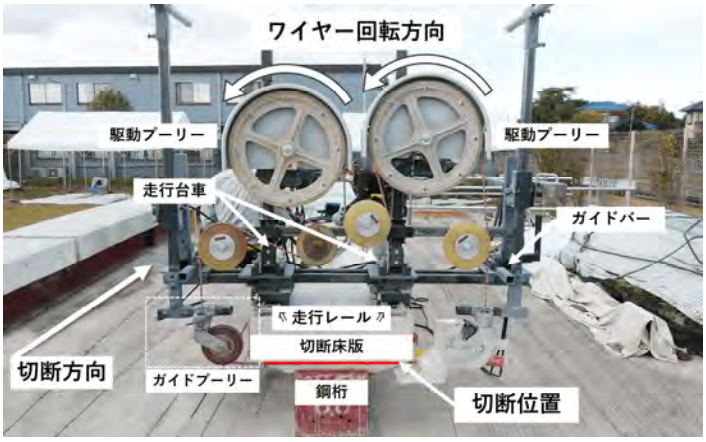


写真-1 ダブルワイヤーソー工法



写真-2 ガイドプーリー

実証実験では，切断精度は±10mm，従来技術に比較して切断速度が約 45%（0.040m^2/min→0.075m^2/min）短縮できることを確認した．この結果から，施工誤差を考慮しても，従来の残コンクリート量が 50mm であったのに対し，今後切断面を桁上面から 20mm に設定でき，約 60%削減できることが明らかになった．

本工法は，「東名高速道路（特定更新等）所領橋他 2 橋床版取替工事(中日本高速道路㈱ 発注)」における，所領橋の P3 橋脚-A2 橋台間の合成桁区間 A=600m^2 に適用した**（写真-3）**．切断作業は湿式工法で行い，最大 3 台のダブルワイヤーソー装置が同時に稼働した．切断作業後の残コンクリート厚は約 20mm**(写真-4)**であり，良好な切断精度を確保できた．また，適用現場では切断面に現れる既設ジベル鋼材の面積が多い条件であったが，鋼材切断面積も考慮した平均切断速度 [2)]は 0.140m^2/min であり，従来比較で約 45%以上の短縮を確保した．



写真-3 ダブルワイヤーソー工法



写真-4 切断後 残コンクリート（t=20mm）状況

（２）DWS 二桁同時切断工法

DWS 二桁同時切断工法は，上記(1)のダブルワイヤーソー工法の走行台車と駆動プーリー配置間隔を橋軸直角方向に広げることで，二つの主桁上の床版を同時に切断する工法である**(図-2)**．

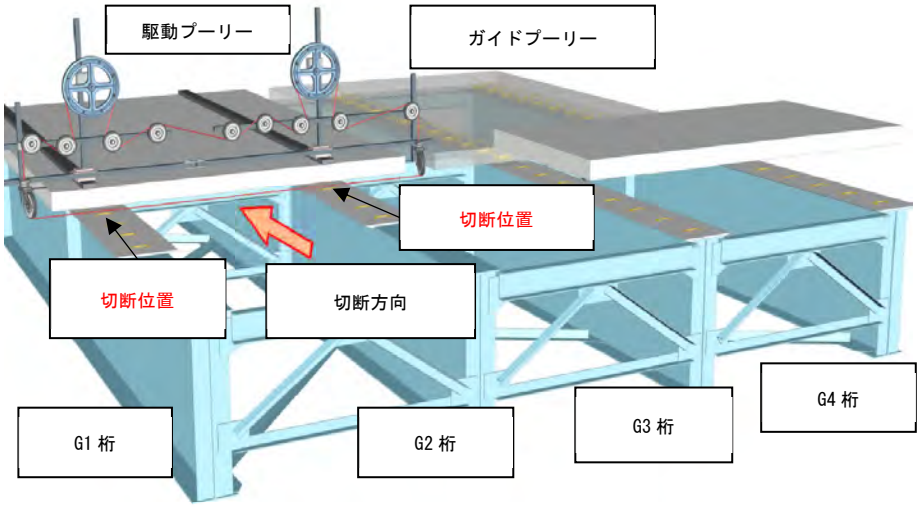


図-2 DWS 二桁同時切断工法

ガイドプーリーを G2,G3 桁間の中央付近の床版下に設置する必要があるため，この部分の桁間床版の事前撤去が必要であるが，ダブルワイヤーソー工法と比較して撤去範囲が 1/3 以下となる．

本工法は，ダブルワイヤーソー工法の特徴を備えながら，長支間での二桁同時切断が可能であり，事前撤去作業の省力化，桁間床版の仮受け支保工の削減が可能である．また，同時稼働する機材が減少することでオペレータの省人化や，機械移動回数を削減できる．さらに，桁間床版の事前撤去が不要となることで，開口部が減少して安全性が向上する．

実在する既存橋梁を模した，鋼桁間隔 W=3,900mm の供試体を製作し切断実験を行った**（写真-5）**．実験では「ダブルワイヤーソー工法」と同等の切断速度(DW 0.075m^2/min，DW 二桁同時切断 0.080m^2/min)を確認した．切断精度は+20mm～-15mm 以内**（写真-6）**であり，「ダブルワイヤーソー工法」より若干精度は劣るものの，十分実用可能と判断した．本工法は，増設桁の無い実橋での適用を予定している．実橋の適用に向けては乾式切断時の更なる現場適用性の向上と，操作者の熟練度向上による切断精度の確保が課題となる．



写真-5 DWS 二桁同時切断工法　実証実験



写真-6 切断後の切断面状況

（３）床版クールカット工法

床版クールカット工法では，建築工事で実績のある，水平・鉛直切断の双方に対応できるユニット型のワイヤーソー切断装置「基礎躯体クールカット」**（写真-7）**を使用する．

装置はユニット化されており，ダイヤモンドワイヤーの露出部分や駆動プーリー部はすべてカバーで覆われている．機体重量は約 1.6t であり，切断作業毎にクレーンで簡単に移動することができる．クールカット装置の諸元を以下に示す**（表-1）**．

本工法は水平方向に切断した後，鉛直方向に油圧制御でプーリーを連続移動して切断するため，すり鉢状の特徴的な切断面**（写真-8）**となる．



写真-7 基礎躯体クールカット装置



写真-8 クールカットマシンによる切断面の状況

表-1 クールカット装置諸元

No.	項目	諸元	備考
1	切断可能幅	1,300mm～2,000mm	
2	最大水平切断長	3,800mm	
3	水平切断時最大深さ	約 967mm	
4	外観寸法（高さ×幅×奥行）	H2,378mm×W2,290mm×H=2,077mm	運搬時
5	質量	1,600kg	
6	電源	3 相 200V	

本工法の施工方法と施工フローを以下に示す（**図-3**）.

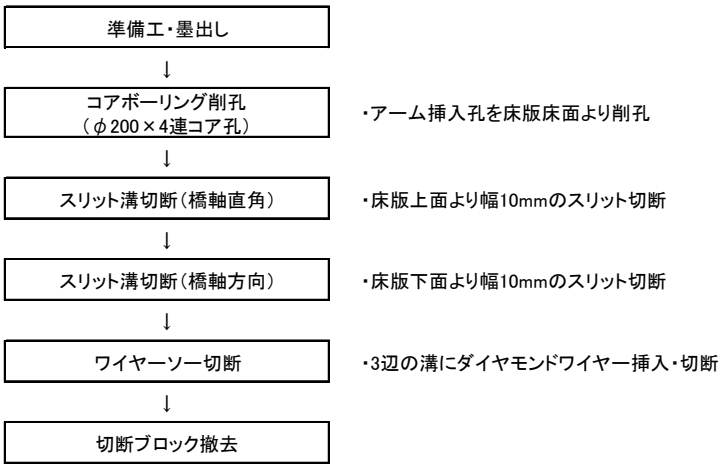


図-3 施工フロー



写真-9 床版下面スリット部
（幅 10mm，深さ 30mm）とダイヤモンドワイヤー

① 床版の撤去幅は，10t トラックによる切断ブロック搬出を考慮して，2m 以下に設定する.
② 可動式アームを挿入するコア孔は，事前にコアボーリングマシン（φ200mm 削孔）を用いて，4 連コアを削孔する．削孔間隔は橋軸直角方向の床版切断幅に合わせて 2m 間隔とする.
③ ダイヤモンドワイヤーを挿入する橋軸直角方向のスリット（幅 10mm）を，床版上面よりロードカッターで切断する.
④ ダイヤモンドワイヤーを挿入する橋軸方向のスリット（幅 10mm）を，床版下面よりディスクグラインダーで切断する．下面からのスリット深さは，30mm 程度とする.
⑤ 対象ブロックの外周 3 辺に設けたスリットの底部にワイヤーソーを落とし込んだ後，残る 1 辺に配置した切断装置側にワイヤーを横引きすることで，コンクリート床版と鋼桁の接合面上部を鋼桁側から水平切断する（**写真-9**）.

対象ブロックの外周 3 辺に設けたスリットの底部にワイヤーソーを落とし込んだ後，残る 1 辺に配置した切断装置側にワイヤーを横引きすることで，コンクリート床版と鋼桁の接合面上部を鋼桁の側面側から水平切断する．桁間床版を先行撤去することなく床版撤去が可能である（**図-4**）.

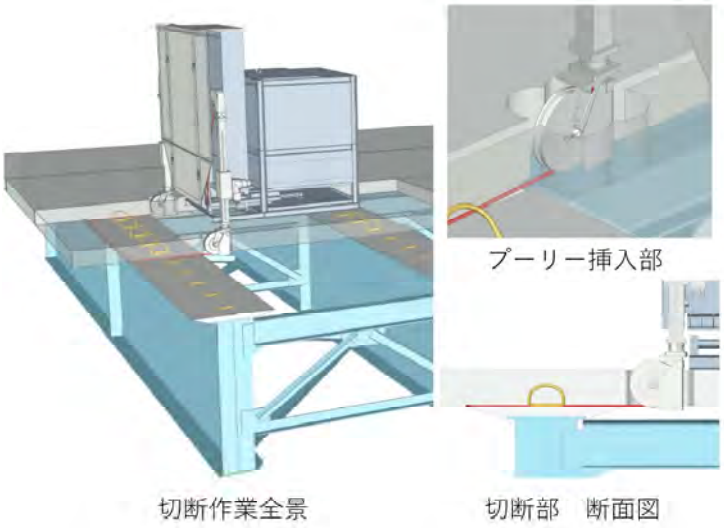


図-4 クールカット工法　概要図

橋軸直角方向に切断することで，切断距離が桁幅分に限定されるため，ワイヤーソーの張力が安定し，切断精度が向上する．また，水平／鉛直切断を自在に切り替えられるため，鋼桁接続部のハンチの形状によらず最低限の幅で切断可能である．

さらに，ダイヤモンドワイヤーや駆動プーリー部のカバーを含めてすべてがユニット化されており，設置・移動時間の削減が可能である．

本工法は，「(改)都心環状線(日本橋区間)呉服橋・江戸橋出入口撤去工事（首都高速道路株式会社発注)」に試行的に適用した**（写真-10)**．

施工方法は乾式切断方式とし，床版の切断面積は 5 m^2（切断幅 2.5m，切断距離 2m）とした．乾式切断時には，プーリー挿入部の連続コア孔から集塵機 2 台を用いて集塵した**(写真-11)**．また，主桁上の残コンクリート厚は 20mm～30mm 程度で，切断面は平滑であり主桁を傷つけることなく，事前の実証実験で想定した切断速度，切断精度で施工を完了した．



写真-10 クールカット工法　現場実装



写真-11　集塵部　近景

4．切断工法の技術的特徴

今回開発した各切断工法の主な技術的特徴を以下に示す（**表-2)**．

(1)ダブルワイヤーソー工法

・残コンクリート 20mm 以下で切断可能．切断精度（±10mm 以下)．切断速度が従来比 45%削減．

・機械構造がシンプルで，切断装置の製作が容易．

・複雑な構造物など様々な構造での適用性が高い．

(2) DWS 二桁同時切断工法

・長支間での二桁同時切断が可能．切断精度（+20mm～-15mm 以下)．

・事前に撤去する桁間床版が 1/3 となるため，仮受け支保工が部分的に不要．

・増設桁など付属物が無い橋梁で適用可能．

(3)床版クールカット工法

・残コンクリート 20mm 以下で切断可能．切断精度（±10mm 以下)．切断・撤去作業が従来比 20%削減．

・ハンチ形状によらず最小幅で切断可能．

・桁間床版の先行撤去や仮受け支保工が不要．

表-2 各切断工法の技術的な特徴

No.	名称	構造形式	桁接続部形状	切断精度	省力化指数	桁間床版撤去	床版撤去回数※1	湿式・乾式
1	ダブルワイヤーソー工法	合成、増設桁	ハンチ有	桁上20mm	切断速度45%削減	必要	5回	両方可
2	DWS二桁同時切断工法	合成	ハンチ有	桁上20mm	切断速度45%削減	1/3に低減	3回	両方可
3	床版クールカット工法	合成、増設桁	ハンチ有・無	桁上20mm	切断・撤去作業20%削減	不要	2回	両方可

（※1：4主桁で壁高欄部切断除く）

５．自動マーキングロボットによる墨出し作業の省力化

更新工事における床版切断位置の墨出し作業は，アスファルト舗装撤去後すみやかに橋梁全長にわたって実施する必要がある．また主桁を切断機械で損傷しないための高精度な位置出しが必須であり，例えば橋長150m の橋梁では，1000 点以上のマーキング作業に 2 日程度必要であった．

そこで，墨出し作業の省力化を目的に，自動マーキングロボットの適用を検討した．マーキング精度，走行速度，不陸面の走行性能，粗面上のマーキング性を考慮し，舗装工事で使用実績のある「タイニーサーベイヤ」を選定し検証を進めた．

自動マーキングロボット「タイニーサーベイヤ」は，タブレット端末に保存した測量点データに基づき，自機位置を自動で取得し点や線の自動マーキングが可能である．切断位置の測量精度の確認，機械特性を把握するため実証実験**（写真-12）**を行い，十分な結果が得られたため現場への適用を決定した．

実施工への適用は，「東名高速道路（特定更新等）所領橋他 2 橋床版取替工事（中日本高速道路㈱ 発注）」の所領橋で採用した**（写真-13）**．床版の撤去面積は約 2,250m^2（橋長 177m）であり，測量マーキング点は 1,077 点であった．事前決定した切断ラインを CAD データから CSV データ形式に変換してタブレット端末に保存した．

測量マーキング作業は 1 日，作業人員は 4 名，ロボットは 2 台，実働 3 時間程度でマーキング作業を完了させることができた．省力化指標（人・時間）は同種規模の従来橋梁における測量作業（104 人・時間）と比較として約 9 割削減した．



写真-12 実証実験における精度検証



写真-13 マーキング状況（自動追尾型トータルステーション）

６．おわりに

合成桁における床版撤去プロセスの効率化のため，様々な現場条件に対して選択可能な 3 つの切断工法を開発し，その適用性と効果を確認した．また墨出し作業においては，舗装工事で実績のある自動マーキングロボット「タイニーサーベイヤ」を導入し，省力化効果を確認した．

今後は，開発した工法の現場適用による改善を進めつつ，更なる省人化省力化技術の導入を図り，床版更新工事の生産性向上に貢献する所存である．

本工法の現場実証に当たって，「ダブルワイヤーソー工法」では，中日本高速株式会社 東京支社 御殿場保全・サービスセンターの皆様，「クールカット工法」では，首都高速道路株式会社 更新・建設局 日本橋工事事務所の皆様にご協力とご指導を頂きました．関係各位に深く謝意を示します．

参考文献

1）尾田ら：合成桁床版切断の高速化技術に関する実物大実証実験の報告，土木学会第 77 回年次学術講演会講演概要集，VI-581，2022

2）一般社団法人 日本コンクリート切断穿孔業協会，施工計画の手引き ワイヤーソーイング工法，2022 年 7 月