三次元モデルを活用した建設生産性向上研究小委員会報告

中嶋 道雄[1]・井口 重信[2]・渡邊 武志[3]・柳川 正和[4]

[1]正会員　パシフィックコンサルタンツ株式会社 （〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地）
E-mail: michio.nakajima@tk.pacific.co.jp jp (Corresponding Author)

[2]正会員　東日本旅客鉄道株式会社 東京建設 PMO（〒141-0031　東京都品川区西五反田 3 丁目 5 番 8 号）
E-mail: s-iguchi@jreast.co.jp

[3]正会員　パシフィックコンサルタンツ株式会社 （〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地）
E-mail: E-mail: takeshi.watanabe@os.pacific.co.jp

[4]清水建設株式会社 土木技術本部 イノベーション推進部（〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1）
E-mail: m-yanagawa@shimiz.co.jp

本報は土木情報学委員会「三次元モデルを活用した建設生産性向上研究小委員会」での活動内容（期間 R3.7~R5.7）について報告するものである．本小委員会は発注者，受注者（設計・施工），メーカー，ソフト会社のメンバーで構成されている．本小委員は、2 つのワーキンググループで構成され，WG1 は，BIM/CIM を活用する事により調査、計画、設計、施工、維持管理全般の全体最適化を目指して討議を行っている．WG2 は同じ規格のプレキャスト部材を大量に普及させることにより，設計や施工，維持管理における生産性向上を目指して討議を行っている．ここではこの 2 つの WG 活動で得られた建設生産性向上に関する知見を紹介する．

Key Words: *BIM/CIM, 建設アライアンス, フロントローディング,生産性向上，PC a ブロック*

1. WG1:全体最適化の活動報告

(1) はじめに

BIM/CIM は，調査，計画，設計，施工，維持管理での各建設フェーズで発生した情報を 3D モデルに付加し，情報活用する事を目的としている．WG1 では，R3.7 から R4.7 までにすべてのプロセスでの課題を討議し，R4.7 から R5.7 までは維持管理プロセスでの BIM/CIM データ活用について討議を行っており，その結果を報告する．

(2) 調査，設計，施工時での実態と課題

a) 調査時での BIM/CIM の実施事項及び課題

調査段階は、BIM/CIM の起点であり、調査時に取得されたデータが設計や施工段階で有効に活用されることが期待されている．測量においては、ドローン測量や地上レーザスキャナの普及により 3 次元データを取得するケースが多くなっているが、航空レーザ等の 3 次元データは広範囲でありデータ容量も大きくなっている．このようなデータの取り扱いについて、測量会社では GIS（地理情報システム）をベースとした 3 次元に対応したソフトにて対応するが、設計以降で活用される CAD ソフトでは読込むことが困難なケースもあり、設計以降のフェーズでの 3 次元測量データ活用の障壁になっていると考えられる．

b) 設計時での BIM/CIM の実施事項及び課題

設計段階での活用は、複雑な鉄筋の取り合いや干渉等の確認や改善に利用している。また点群や既存 3D モデルから複雑な形状での建築限界等の確認に利用している点がうかがえた。そのほかには数量の自動算出や設計時での施工検討に利用している．設計時には正確な現地形状を受け取ることで、建築限界や既存施設との取合いが判断できるため、これらを考慮した設計結果を施工側に送りだす事が重要な点である．ただし，流通のための規格が定まっていない事や，ソフトウエアの充実度が不足しているといった課題がある．

c) 施工時での BIM/CIM の実施事項及び課題

施工状態での BIM/CIM の活用については、建設会社がその事例を紹介し討議を行った。施工段階での BIM/CIM の利用は、3D モデルで可視化する事により工事内容の

周知や説明などに利用している例が多かった．またこれ以外には，3D データを利用した ICT 施工に活用を行っている。これは自動化施工の一環であり、設計データの BIM/CIM データを目標としてその形状になるように施工機械を自動的に作動させる施工方法である．3 点目はドローン等で点群を取得し、現地状況再現や施工結果の検証などに利用している．これらのデータの活用及び情報の付加を考慮すると、今後は施工成果となる出来形を自動的に BIM/CIM モデルに付与し、維持管理での活用を行う事が考えられる．

(3) 維持管理での実態

a) 維持管理フェーズ内のプロセス

施工フェーズから続く，維持管理フェーズは図-1 のようなプロセスに分類され，維持管理計画に定められた期間ごとに点検・評価を繰り返す．その中で，補修や補強が必要と判断すると設計，施工を行い，維持管理計画を見直す事を行っている．この流れは，建設全体の流れと同様であるが，その違いは点検・評価プロセスがある事である．ここでは点検・評価に注目して検討を行った．

b) 点検・評価方法と目的

国や地方自治体等、鉄道・道路・製鉄等の民間での維持管理事例を調査した．国と民間どちらも，基本的には国等が発行する維持管理要領やマニュアルなどを基に点検・評価が行われている．ただし，民間に関しては利用実態や特殊性に応じた独自維持管理要領などを定める例がある．点検は，変状の発生や進行を効率的かつ早期に発見する事で構造物の性能が，低下する可能性や進行を早期に発見することを目的として実施している．

c) 点検方法の多様化とデータ量

民間での点検手法については，国の設定手法に比べ，目的に応じた多彩な方法を採用している例が多かった．以下の図-2 に，高速道路会社での点検手法についての例を示す．斜張橋の斜材の維持管理ロボットや赤外線によるひび割れの発見，ドローンによって取得した画像によるひび割れの自動認識など，それぞれの構造物部材に応じた点検手法を開発している．これらの手法は点検時の安全性向上や自動化によるコスト削減，詳細な劣化進行の把握などを目的としている．また，国でも ICT 施工やレーザースキャナ(TLS,MMS 等)による測量マニュアル案，出来形管理基準案が策定されるなど，新しい測量・点検手法を導入している．レーザスキャナによる点群計測などに代表されるように，このような計測方法が発達すると，従来のスケールでの寸法計測等と比べ，飛躍的にデータ量が増加する．

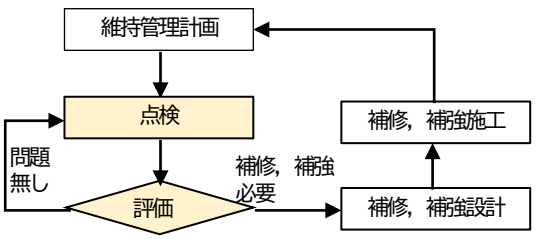


図-1 維持管理内のプロセス

d) 点検方法の多様化とデータ量

点検結果管理は従来，紙媒体にて行って来たが，近年では上述したような大量のデータを BIM/CIM データの属性として付加し，一元管理が行えるようになってきている．以下の図-3 に国での維持管理プラットフォームの例を示す．このような大量のデータは，このようなプラットフォームでの活用に移行しつつある．プラットフォーム上では点群同士で比較した地形変化や補修個所の図面参照等が可能となり，維持管理に活用されている．プラットフォームでは管理基準以上の地形変化の場合に色分けする事で，全体を俯瞰的に見た際に維持管理上課題がある個所が発見しやすく，その箇所の以前やそれ以前の地形変化や設計図面，補修図面などが即座に確認できる事で，緊急時の対応も行いやすい．

(4) 課題と今後の方向性

現状では新たな計測機器や方法が開発され，それを活用する基盤としてのプラットフォームが開発されつつある．このような状況下で、紙などの旧来方式で維持管理されている施設を，どの様にスムーズにプラットフォームへ移行できるかが課題と考えられる．また紙設計図しかない既存構造物の BIM/CIM モデル作成や，点群と旧来の計測機器の違いで発生する管理単位や評価方法をどのように共存するか等の課題がある．また，管理者が異なる場合は，BIM/CIM モデルの作成方法や点検・評価結果の付加方法の差などが社会全体での生産性を低下させることが懸念される．そのため共通のルール作成が必要

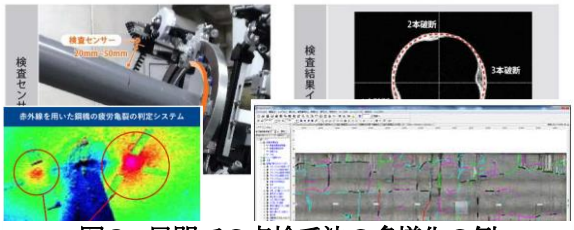


図-2 民間での点検手法の多様化の例

出展：中日本ハイウエイエンジニアリング東京 HPhttps://www.c-nexco-het.jp/tech/284/より



図-3 河川（国）での維持管理プラットフォーム例

出展:荒川河川事務所 HP より https://arage.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=aad07ecc86de4a09a547216ea0fa23a)

であると考えられる．ただし，各構造物の特性や利用性を考慮した上で最低限の共通項を抽出し，ルールを作成する必要がある．

2.　WG2:プレキャスト（PCa）化 WG の活動報告

(1)　はじめに

建設業における生産性向上の施策の一つとして，プレキャスト化促進に向けて各所で様々な検討が進められている．しかし，課題は多く一朝一夕に進んでいないのが現状だと思われる．本 WG では，レゴブロックのように各ピースをロボットが積んでいくことで構造物を構築できないか，というような将来のあるべき姿からバックキャスト的な思考で，プレキャスト化促進のための検討を行ってきている。

(2)　PCa 化のメリット

プレキャスト化促進のための起動力となるプレキャスト化によるメリットについて，ブレインストーミング手法で列挙した（図－4）．コストや工期に直結しそうな効果も挙げられたが，現場打設のときよりも高品質・高度化する内容のほか，安全性の向上，点検箇所が分かりやすくなるといった定性的な効果も多く挙げられた．これら定性的な効果は，コスト換算することで現場打設よりもメリットを挙げられる可能性を秘めていることが浮き彫りとなった．

(3)　PCa 化促進のための課題検討

PCa 化を促進する上で大きな課題となるのが，接合構造である．接合部は，一体でコンクリート打設した構造物と比べて弱点となりやすいだけでなく，必要な性能を確保するためにコストが増大する要因ともなる．また，接合精度を高く求められるほど，現地での施工精度も高く求められ，結果としてコスト増となることから，現状用いられている接合構造の例を挙げ，それらを現地で求められる施工精度から分類を試みた（図-5）。第一期でではコンクリート製接合キーを対象に縮小模型による載荷試験を実施したが，第二期でとなる今期は，プレキャスト化が進まない要因の一つである価格が安く，汎用性が高い構造を目指し，機能や性能は限定しつつも，従来よりも材料は増やさず，現場作業も極力増えない構造の検討を行うこととした．

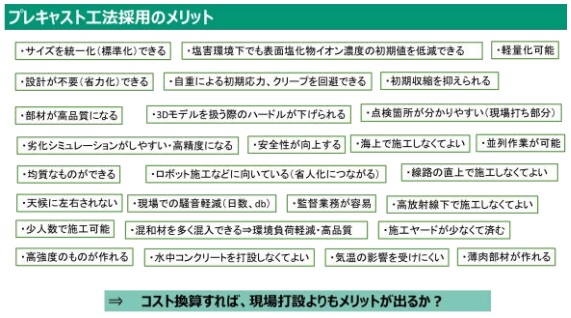


図-4　PCa 化のメリット

(4)　新しい接合構造のアイデア

以上のような検討を踏まえ，既成概念にとらわれない新しい接合構造のアイデアを出し合った．図－6 にその一例を示す．いずれのアイデアも，一部の機能を犠牲にしながらも，一部の機能に特化した接合構造であるが，使用箇所や使用用途を考慮することで適用可能と考える．

(5)　レゴブロックを用いた載荷実験

本 WG の活動イメージで掲げているプラスチック製ブロックである「レゴブロック」を用いた載荷実験によるアプローチも実施した。載荷スパンと断面の形状を同一にするという条件のもと、ブロックの積み方だけを変えた場合にどの程度耐荷性能が向上するのかを実験と解析の両面から検証した。図－7 に試験体の一例を、図－8 にその載荷中と崩壊時の状況を示す。ほぼ同じブロックを用いても最大荷重や崩壊するラインが異なる結果となった。全 7 ケースの荷重変位関係（図－9）から見ても、

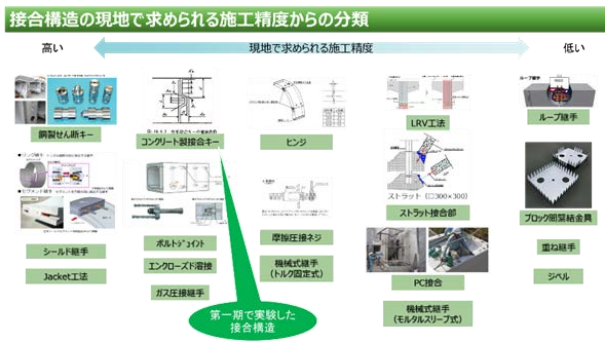


図-5　施工精度からの接合構造の分類

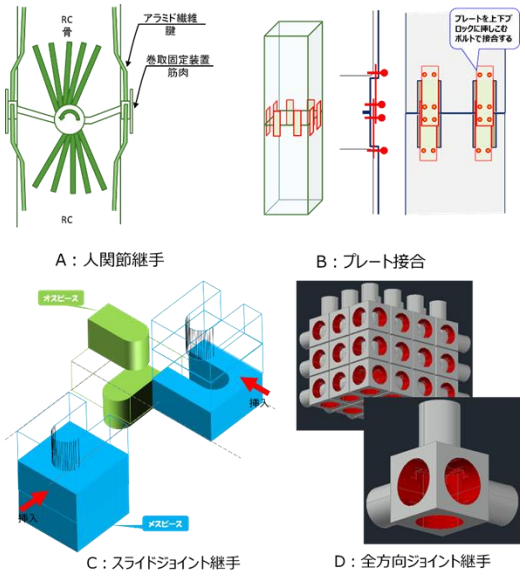


図-6　新しい接合構造のアイデア

ブロックの積み方だけで、大きく耐荷性能を変えた構造が作れることが分かった。

各ピース間のブロックの押し込みや引抜き、せん断試験などの要素試験結果を、接続部のバネ要素の材料定数等に用いた FEM 解析による再現も行った。図－10 に解析結果の一例を示す。最大荷重は最大荷重時変位ともに試験結果とほぼ同じ結果となったが、case7 については、崩壊ラインが試験結果と異なる結果となった。詳細な崩壊ラインの分析を行ったところ、解析上では複数の接合部において同時並行で崩壊が進んでおり、その傾向は実験結果の崩壊時の状況からも確認ができ、解析により精度良く崩壊過程が追えていることが分かった（図－11）。

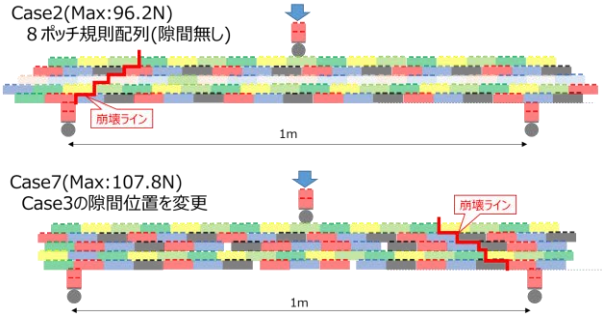


図-7　ブロックの積み方

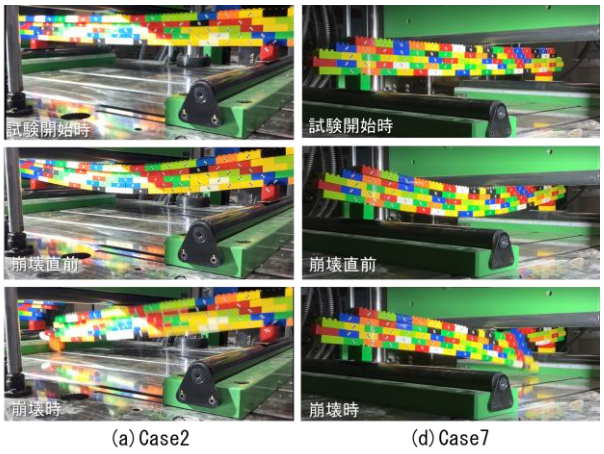


図-8　載荷中および崩壊時の状況

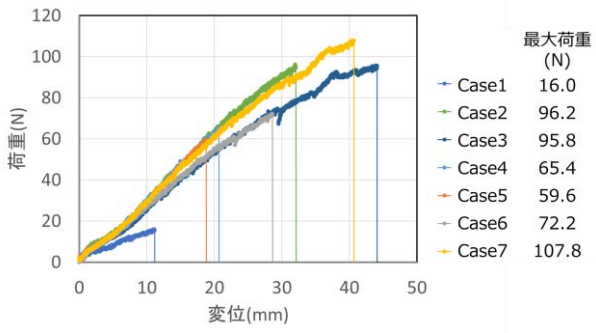


図-9　荷重－変位関係

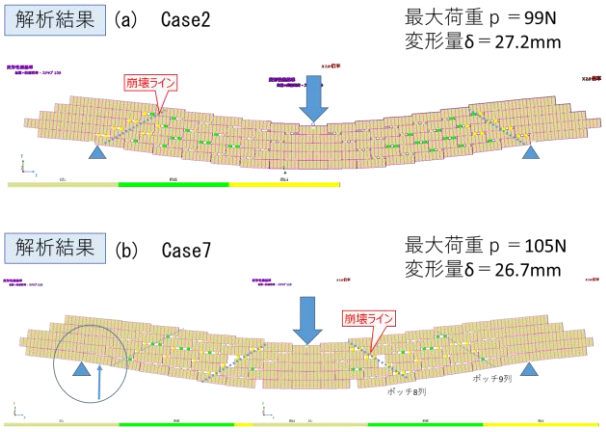


図-10　FEM 解析結果

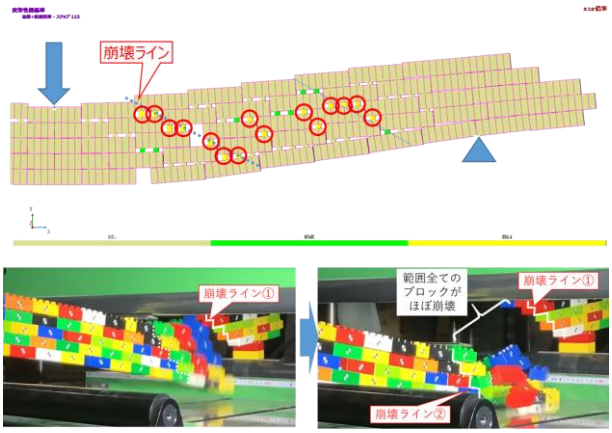


図-11　崩壊ラインの詳細（Case7）

今後は、本検討結果を活用し、実物を想定したモデルでの検討を実施予定である。

REFERENCES

1) 中嶋道雄ら：取り替え可能なプレキャスト部材の考案,令和 2 年木学会年次学術講演会,2020
2) 井口重信ら：取替可能なプレキャスト部材の特性について（FEM 解析）, 木学会年次学術講演会 2021
3) 中嶋道雄ら：建設プロセスにおける BIM/CIM データ活用展望と課題, 木学会年次学術講演会 2022
4) 井口重信ら：バックキャスト思考によるプレキャスト部材の接合構造に関する検討，土木学会年次学術講演会，2022

(Received August 28, 2023)
(Accepted September 1, 2023)