橋梁上部工工事におけるICTを活用した施工事例

(株)大林組　正会員　○森　　聡紫
(株)大林組　正会員　　翠　　丈志
(株)大林組　正会員　　柴田　常徳
東日本高速道路(株)　非会員　　尾谷　力

１．はじめに

近年建設業では深刻な人手不足が課題となっており，各社で省人化・省力化を目的とした技術開発が活発に行われている．橋梁上部工工事である本工事においても，限られた人員の中で，経験の浅い若手技術者が主体となって施工計画および施工管理を実施する必要があり，効率的な施工・施工管理が求められた．そこで本工事では，①クレーン配置計画の効率化，②足場支保工計画・施工の効率化，③床版横締め PC 鋼材出来形管理の効率化，④コンクリート打込み管理の効率化の 4 つの課題に対して，ICT 技術を活用し，省人化・省力化に取り組んだ．本稿では，これらの取組み内容と得られた効果について報告する．

２．工事概要

本工事の工事概要を**表-1**に示す．本工事は，新潟県阿賀野市に位置するPC5径間連続2主版桁橋のPC上部工工事である．暫定2車線で運用されている磐越自動車道(三川IC～安田IC間)の4車線化事業の一環として計画され，1996年に建設された既設橋梁(Ⅰ期線)に平行して新設橋梁(Ⅱ期線)を構築するものであった．主桁断面図を**図-1**に，橋梁一般図を**図-2**に示す．施工は5径間を5つの施工区間に分割し，固定式支保工で行う計画であった．

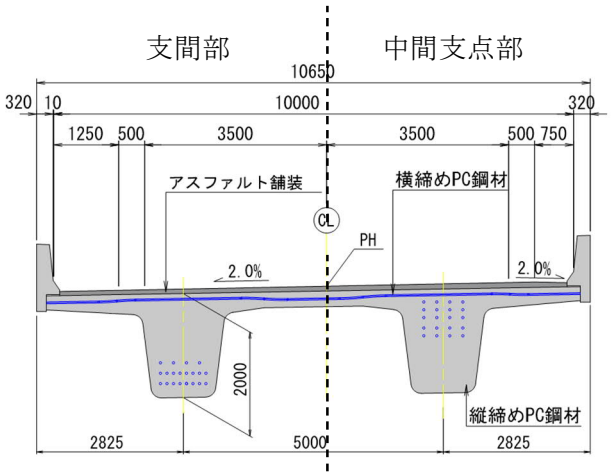


図-1　主桁断面図

表-1　工事概要

工事名	磐越自動車　草水高架橋 (ＰＣ上部工)工事
発注者	東日本高速道路株式会社　新潟支社
受注者	株式会社　大林組
工事場所	磐越自動車道 自)新潟県阿賀町谷沢 至)新潟県阿賀野市新保
橋梁形式	PC5径間連続2主版桁橋
橋長	131.5m
支間長	19.8m+3@27.5m+26.8m
総幅員	10.65m
平面線形	A=800
斜角	90°00′00″
縦断勾配	1.73%～0.30%
横断勾配	2.00%　　ただし路肩折れあり

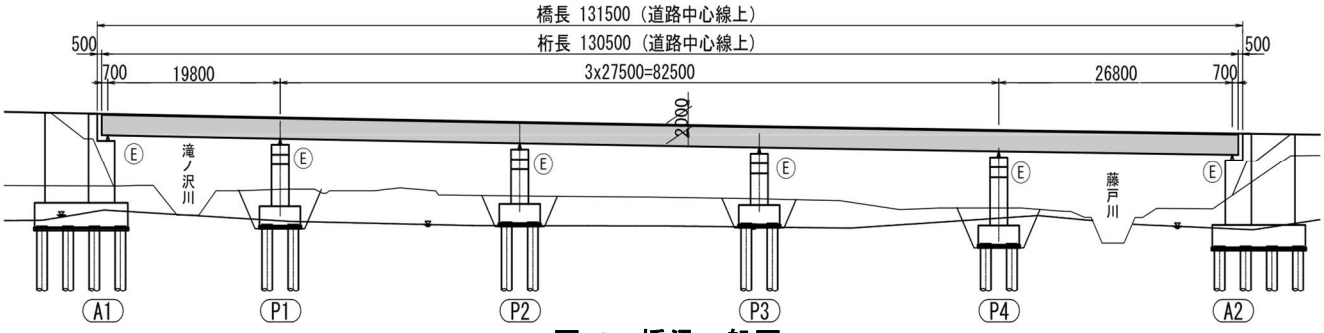


図-2　橋梁一般図

キーワード　点群データ　AR アプリ　自動追尾型トータルステーション　コンクリート施工管理システム
連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2　（株）大林組　生産技術本部橋梁技術部　TEL080-6686-930

３．クレーン配置計画の効率化

写真-1 に実際の施工時のクレーン配置を示す．施工ヤード制約のため，Ⅰ期線とⅡ期線の間（狭隘箇所）にのみクレーン配置可能な施工条件であった．そのため，安全上の観点から，クレーン配置時におけるⅠ期線との離隔を水平方向・鉛直方向の 3 次元的に確認する必要があった．また，上記検討に先立ち，施工ヤードとⅠ期線の現況測量も必要であった．これら測量及びクレーン配置計画には多くの時間を要することが予想されたため，以下の取組みを行った．

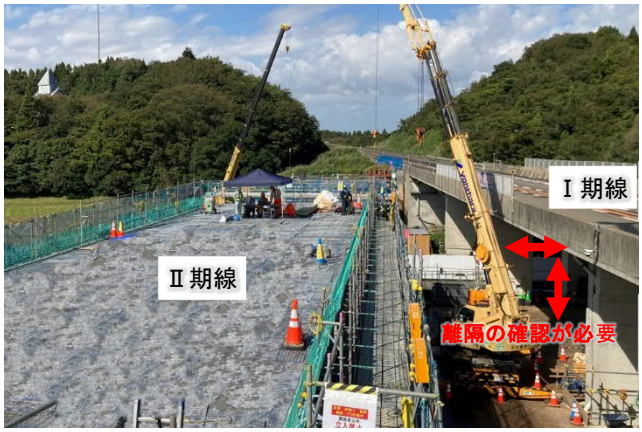
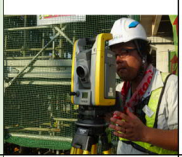


写真-1　実際のクレーン配置

(1)背負型レーザースキャナを活用したヤード測量

施工ヤード及びⅠ期線の測量作業を省力化するため背負型レーザースキャナを活用した．背負型レーザースキャナは器械を背中に装着し，歩いた軌跡の範囲を計測できる．従来のトータルステーションや三脚式レーザースキャナと異なり，器械の盛替えが不要で点群データを自動取得するため，測量時間を大幅に短縮できる．従来からの測量方法との比較を**表-2** に示す．

表-2　ヤード現況測量方法の比較

	トータルステーション(ノンプリ)	三脚式レーザースキャナ	背負型レーザースキャナ
作業性	盛替えが必要 ×	盛替えが必要 ×	歩いた軌跡を計測 ○
計測時間	16時間（2日） ×	5.0時間 △	0.7時間 ○
検討図作成	8時間（1日） ×	1.0時間 ○	0.7時間 ○ 94%削減
合計作業時間	24時間（3日） ×	6.0時間 △	1.4時間 ○
計測精度	±3mm ○	±5mm ○	±50mm △
			
評価	×	△	○

これにより，作業時間を 94%削減し省力化できた．測量精度は±50mm であったものの，今回の検討業務には十分な精度であったため採用に至った．

(2)動的 3D 施工シミュレーションソフトの活用

取得した点群データから作業可能空間を 3D モデル化し，動的 3D 施工シミュレーションソフトでクレーン配置検討およびⅠ期線との離隔を確認した(**図-3**)．ジブの伸縮や旋回などのクレーン操作を容易にでき，ソフト上でⅠ期線との離隔も確認可能であったため，複数施工パターンの検討を短時間で行うことができた．従来からの検討業務(2D 図面)と比較して作業時間を 7 時間から 4 時間に削減，43%省力化できた．

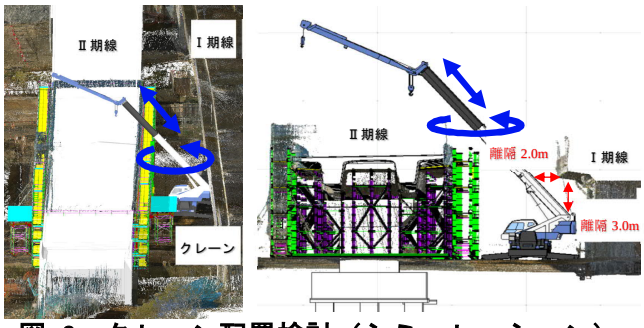


図-3　クレーン配置検討（シミュレーション）

４．足場支保工計画・施工の効率化

橋梁上部工工事における足場支保工は，構造が複雑であり使用部材も多種多様である．そのため，足場支保工計画時における数量チェックや構造確認，組立作業に多くの時間を費やすため，以下の取組みを行った．

(1)3D モデルによる足場支保工数量の自動算出

足場・支保工図面を 3D モデル化し，数量算出の省力化を図った．数量算出方法の概要を**図-4** に示す．支保工部材は各々ブロック名で定義されており，範囲を選択すればブロック名ごとに数量が一覧表示される．これにより，1 径間当たり 10 時間費やしていた数量算出作業を 15 分に短縮し，全体で 49 時間の削減，98%省力化できた．

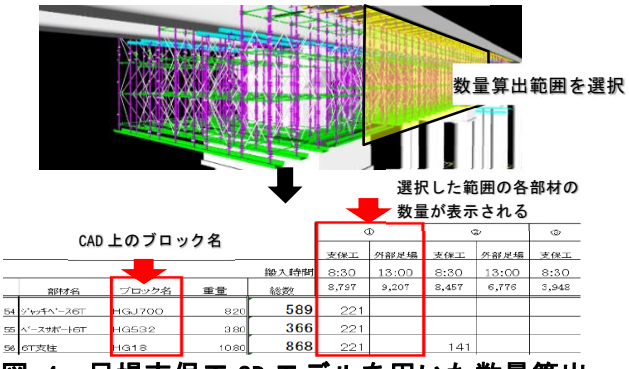


図-4　足場支保工 3D モデルを用いた数量算出

(2)AR(拡張現実)アプリによる 3D モデル現地投影

3D モデルを現地投影できる AR アプリを用いて，作成した足場支保工 3D モデルを現地に投影し可視化した(**写真-2**)．これにより，経験の浅い技術者でも完成イメージを直感的に把握，各部材の配置箇所など詳細な構造も理解でき，ミスや手戻りを防止できた．また，作業手順の確認においても活用することで，技能労働者が組立前に足場支保工の全体像を把握でき，足場支保工組立作業の施工スピード(歩掛り)が向上した．AR アプリ使用前後の歩掛り表を**表-3** に示す．1 径間当り，42%の省人化と 2 日の工程短縮を達成した．



写真-2　AR アプリによる現地投影

表-3　AR アプリ使用前後の結果

ARアプリ使用前 草水P3-P4間 重量支保工組立 (60.2ｔ)	作業人員								人工	数量(t)	歩掛 t/人
資材荷降ろし	2								31	60.2	1.9
敷桁設置		2									
支柱組立		2	4	4	4						
枕桁・受桁設置						4					
主桁設置							4				
ステージ設置								5			

ARアプリ使用後 草水A1-P1間 重量支保工組立 (59.4ｔ)	作業人員								人工	数量(t)	歩掛 t/人
資材荷降ろし	2								18	59.4	3.3
敷桁設置	1										
支柱組立		3	3								
枕桁・受桁設置				3							
主桁設置					3						
ステージ設置						3					

2日間短縮

42%の省人化

５．床版横締めPC鋼材出来形管理の効率化

上床版は横締め PC 鋼材を配置した PC 構造となっており，PC 鋼材配置後の出来形管理は，コンクリート天端からの配置高さを計測する．従来の出来形管理は，PC 鋼材を支持する丸鋼と，コンクリート天端（型枠の両端から張られた水糸）からの高さをスケールで計測するが(**図-5**)，3200 測点(16 測点/本×200 本)を計測する必要があり，管理値も±5mm 以内と厳しく，高い精度が求められた．また，3 人（水糸係 2 人，検測係 1 人）の計測者を必要とし，全橋で延べ約 40 時間(15 秒/測点×3200 測点×3 人)を要するといった課題があった．

そこで，現場計測アプリを搭載したタブレット端末と，自動追尾型トータルステーション（以下，自動追尾 TS）を用い，ICT 化による計測作業の効率化を図った．計測方法の概要を以下に述べる．

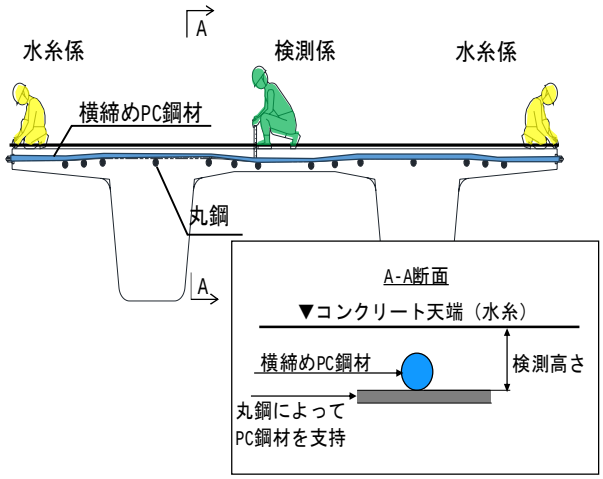


図-5　従来の横締め PC 鋼材出来形計測方法

(1)仮想コンクリート天端面の作成

従来の計測方法におけるコンクリート天端として，仮想のコンクリート天端面（以下，サーフェス）を事前に作成する必要がある．型枠天端にプリズムを据えて，自動追尾 TS により型枠天端の座標値（3 次元）を取得する．取得した座標値は，計測アプリを介しクラウド上に送信する．送信された座標値から 3D データ処理ソフトを用いてサーフェスを作成する．その後，作成されたサーフェスデータを計測アプリへ入力する（**図-6-①**）．

(2) PC 鋼材配置高さの計測

プリズムを測点（丸鋼の天端）に据えて，タブレット端末の計測アプリと自動追尾 TS を用いて，サーフェスからの配置高さを自動計測する．計測値はタブレット画面上に表示され，その場で値を確認できるとともに，クラウド上に自動送信され記録保存される(**図-6-②③**)．

一連の計測方法により，計測人数を 3 人から 1 人に削減できた．また，自動記録保存機能により計測値記帳作業についても省略でき，計測時間を 15 秒/測点から 10 秒/測点に短縮した．全体では，従来方法の 40 時間から 8.9 時間（10 秒/測点×3200 測点×1 人）に短縮し，計測時間を 78%削減できた[1)]．

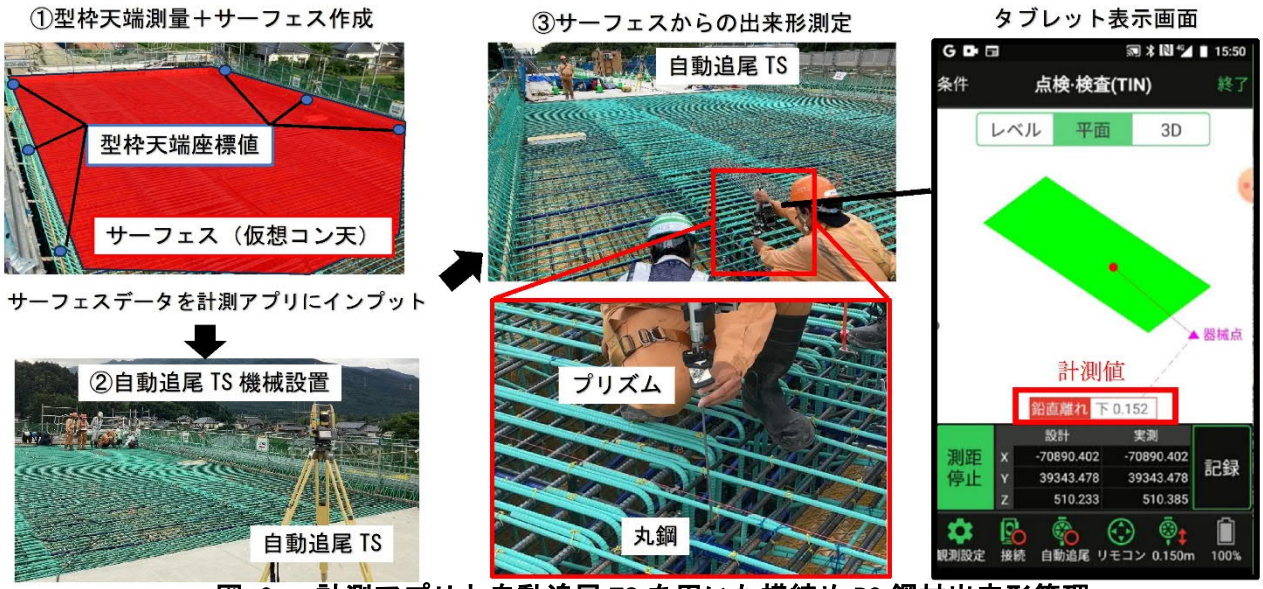


図-6　計測アプリと自動追尾 TS を用いた横締め PC 鋼材出来形管理

６．コンクリート打込み管理の効率化

本橋の１径間当たりの打込み数量は最大 341m³(打込み延長 L=38.5m)であった．2 主版桁の構造上，高さ方向だけでなく橋軸・橋軸直角方向にも複数の打ち重ね箇所が存在した(**図-7**)．このため，コンクリートの運搬・打込み時間および打ち重ね時間の厳密な管理が求められる中，限られた人員で打込み管理をする必要があった．

そこで本工事では，「コンクリート施工管理システム」を活用して，コンクリート打込みにおける運搬・打込み・打ち重ね時間の管理をシステムで統合管理することで，省人化・省力化を図った．

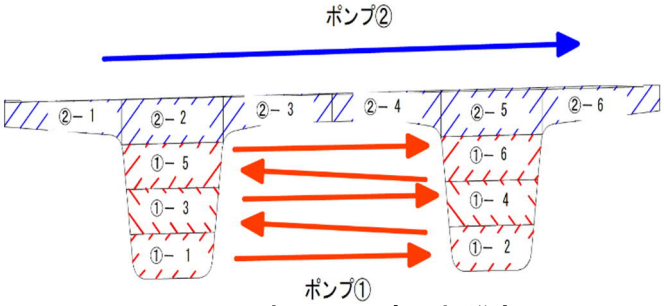


図-7　打込み順序（標準部）

(1)運搬・打込み時間管理の効率化

運搬・打込み時間管理は，「コンクリート打込み時間管理システム」に専用の IC タグとカードリーダーを用いて管理を行った．以下に管理方法を述べる．

生コン車の運転手に IC タグを配布，工場・現場入口・荷卸し箇所それぞれにカードリーダーを設置する．「工場出荷」「現場到着」「荷卸し開始」「荷卸し終了」の各タイミングで IC タグをカードリーダーにかざし，その時点の時刻がシステム上の帳票へ自動記録および反映される(**図-8**)．

外気温 25℃を上回る場合は，工場出荷～荷卸し終了までを 90 分以内で管理する必要があるため，「警告時間」(80 分)と「超過時間」(85 分)を設定した．警告時間を経過すればピンク色に，超過時間を経過すれば赤色で表示されるため視覚的に即座に把握できる．帳票は，タブレット端末等で関係者がいつでも閲覧可能であり，トラブルなどの現場状況に応じて出荷調整にも迅速に対応できる．また，打込み後に帳票データを出力でき，事後の書類整理作業においても高い省力化効果を得ることができた．これらにより，ポンプ１台あたり１名配置していた時間記録者を配置不要とし，データ整理に要していた時間を 5 時間(1 時間×5 径間)短縮した．

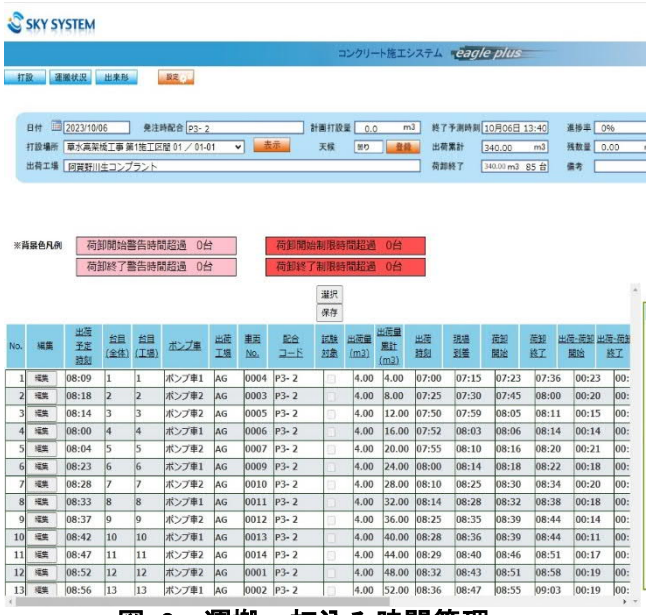


図-8　運搬・打込み時間管理

(2)打ち重ね時間管理の効率化

打ち重ね時間管理には，「コンクリート打ち重ね管理システム」を活用した．以下に管理の手順を述べる．打込みブロックごとに分割した 3D モデルを作成し，システム上に登録する．打込み当日はタブレット端末からモデルを表示し，打込み中（黄色）や打込み完了（緑色）したブロックをタッチして管理する(**図-9**)．外気温 25℃を上回る際は，打ち重ね時間を 120 分以内で管理する必要があるため，「警告時間」(105 分)と「超過時間」(115 分)を設定した．打込み時間管理と同様に，警告時間を経過すればピンク色に，超過時間を経過すれば赤色で表示され，視覚的に管理ができる．

従来は，打込み指示者の職員が打込み指揮と同時に打ち重ね時間の管理を行っていた．しかし，同時管理は大きい負担が伴ううえ，打ち重ね時間管理の手法は，時間と場所を野帳や型枠に記録するなどのアナログな手法であったことから，記録ミスによるコールドジョイント発生など品質不具合が生じる恐れがあった．

本システム導入により，打ち重ね時間の視覚的・直感的な管理が可能となり，記録の正確性と共有性が向上した．その結果，打込み指示者の管理負担の軽減と品質確保の両立を実現した．

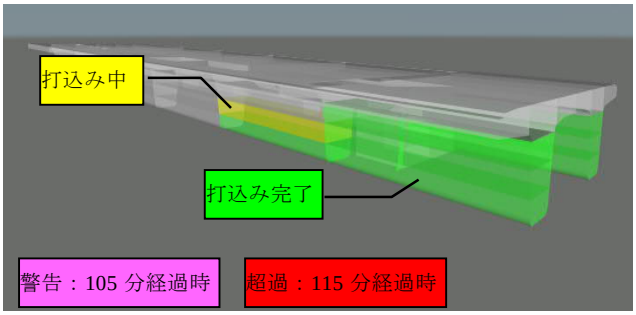


図-9　打ち重ね時間管理

(3)システム管理の効率化

本工事では，前述したコンクリート施工管理システムの他に支保工傾斜計やコンクリート充填検知システム，生コン車運行管理システム，支保工たわみ計の合計 6 種類のシステムを採用しており，コンクリート打込み時にはこれらを同時に操作する必要があった．各々のシステムは，システムごとに画面を切り替えて閲覧する必要があり，操作に時間と労力を要すことが懸念されていた．これを解決する方法として，複数システムを一元管理できる自社開発の統合管理システムを導入した．

当システムは，一つの画面で 6 種類のシステムを一括表示することができ(**図-10**)，アプリの切り替え操作を不要とすることで，操作時間を約 30%削減した[1)]．また，従来は複数人が各々のシステムを個別に管理していたが，本システムの導入により，1 人による一元管理が可能となった．

タブレット端末での閲覧に加え，デジタルサイネージによる大画面での表示(**写真-3**)も行うことで，打込み管理の職員以外にも情報を共有することが可能となり，品質不具合防止の強化にもつながった．また，立会を行う発注者においても，打込み状況を一目で把握することができた．



図-10　統合管理システム



写真-3　デジタルサイネージ投影状況

7．おわりに

橋梁上部工工事における，ICT の活用事例について紹介した．3Dモデルや自動追尾型トータルステーション等を活用し，施工計画・施工管理において省人化・省力化を達成できた．

本稿が，昨今の担い手不足という大きな課題の解決への足がかりとなれば幸いである．

参考文献

1)仲田宇史，森聡紫，翠丈志，村上隆弘，佐藤崇，西山優介：省人化・省力化を考慮した PC2 主版桁橋の ICT 施工，橋梁と基礎，VOL59,pp.7-11,2025.6