

UFC床版の量産化と更なる合理化の検討

大成建設(株)	正会員	M. S. C. E.	○	武者	浩透
大成建設(株)	正会員	工修		大竹	明朗
大成建設(株)	正会員	工修		大熊	光
関東地方整備局				野口	孝俊

1. はじめに

羽田空港D滑走路の棧橋部の一部には、約6,200枚の無機系複合材料 (RPC) 系超高強度繊維補強コンクリート (UFC) プレキャスト床版が採用されている。この様な多量のUFC構造物の採用に際して、様々な床版構造やその製作性を検討し、2方向プレテンション床版構造とその量産システムを開発した。その量産化システムによって、工期内に全数無事に製作することができ、また貴重な品質管理データを得ている。本稿では床版構造とその量産化システムの概要を示し、製作時のデータに基づいてUFC部材製作の更なる効率化についての検討を報告する。

2. UFC床版構造の選定とその特徴

2.1 UFC床版の構造選定¹⁾

UFC床版が採用されたD滑走路外周部 (写真-1) は、通常は管理用車両が通行するエリアであり、A活荷重が設計荷重として考慮されている。しかしながら、万が一航空機が逸走した場合においても床版が耐え得るように、異常時の荷重としては航空機荷重を考慮している。このUFC床版1枚に載荷される航空機荷重は、ジャンボジェットの前側のメインギア (6輪) 分の約180tonであり、この荷重に耐え得る高耐荷な床版構造が求められた。あわせて、海洋環境下での高耐久性と、ジャケット等の下部構造への負担軽減のための軽量化も望まれた。

これらの要求性能を満たすべく、材料としては超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を、そして構造としてはリブ付き2方向プレテンション床版構造を採用した。

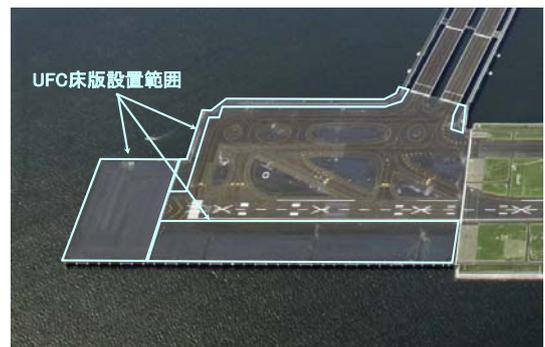


写真-1 UFC床版設置範囲

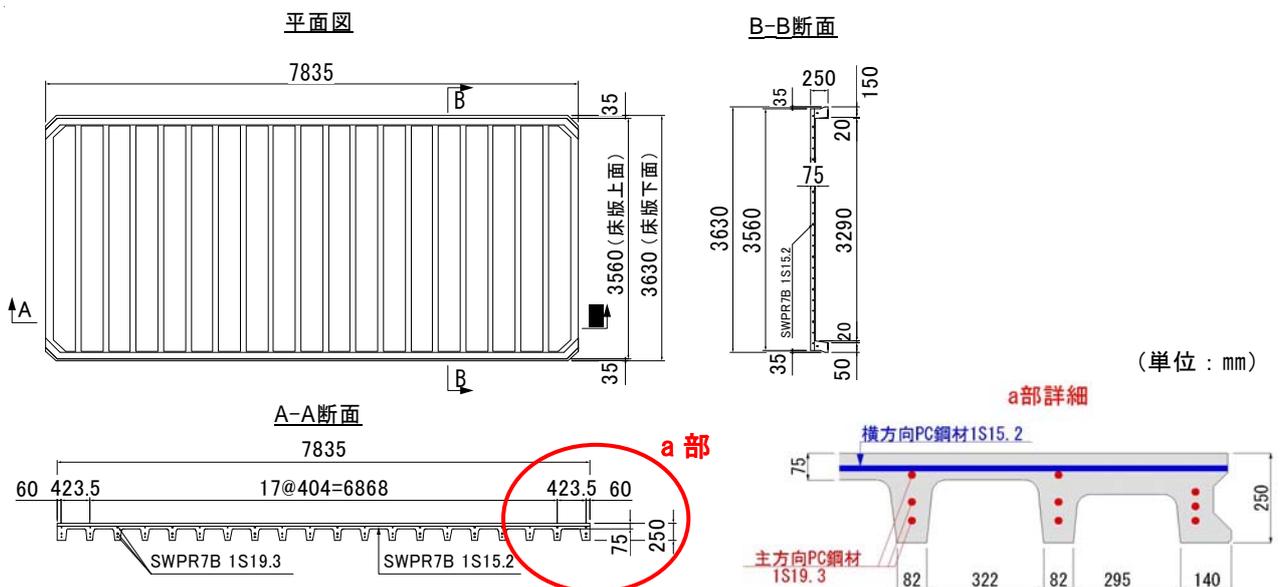


図-1 UFC床版構造

2.2 UFC床版構造の特徴

D滑走路に採用されたUFC床版の詳細構造を図-1に示す。このUFC床版は、長辺(7,835mm)×短辺(3,630mm)の長辺2辺が単純支持されたPC床版であり、短辺方向にはリブ(H=250mm)が配置されている。リブ厚は82mm、床版厚は75mmであり、従来のPC床版に比べて56%の軽量化を実現した。床版構造の主方向となる短辺方向にはφ19.3mmのPC鋼より線が各リブに3本、合計20のリブに計60本配置され、17,418kNものプレストレスが導入されている。また、長辺方向には75mmの床版厚の中央にφ15.2mmのPC鋼より線が24本配置され、プレストレス量は4,637kNである。この非常に薄いUFC床版には鉄筋が1本も配置されていないが、縦横に張られたPC鋼材と、UFCの超高強度により導入が可能となった非常に大きなプレストレスにより優れた耐荷性能を有しており、要求された構造性能を十分に満足する性能を有している。

3. 量産化システムの合理化についての検討

本章では、羽田空港D滑走路へのUFC床版供給のために建設した専用工場、および新たに開発した量産化システムの概要と、今後におけるUFC構造物製作の合理化についての検討を報告する。

3.1 量産化システムの概要：ロングライン生産と型枠ジャッキダウンシステム¹⁾

約2年間の製作期間と合計6,139枚の製作枚数(RPC系UFC床版)の計画により、月320枚、週80枚の製作枚数が設定された。2方向プレテンション設備、凝結時のUFCの高収縮特性、主方向60本、横方向24本もの多量のPC鋼材のハンドリング等々、世界初となる2方向プレテンション大型UFC床版の製作には多くの課題があったが、図-2に示すように100mを超えるプレテンションライン(写真-2)を配置し、20枚の床版を一気に製作するロングライン生産の開発により効率的な量産化システムの構築に成功した²⁾。また、リブ形状によりプレストレス導入時に鋼製型枠が床版を拘束して脱型不能となる現象を回避するために、プレストレス導入前に型枠を下げるシステム：型枠ジャッキダウンシステムを開発した。

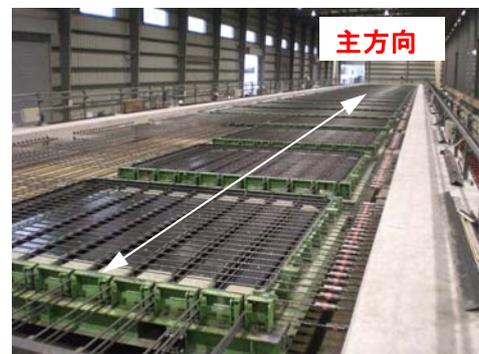


写真-2 プレテンションライン

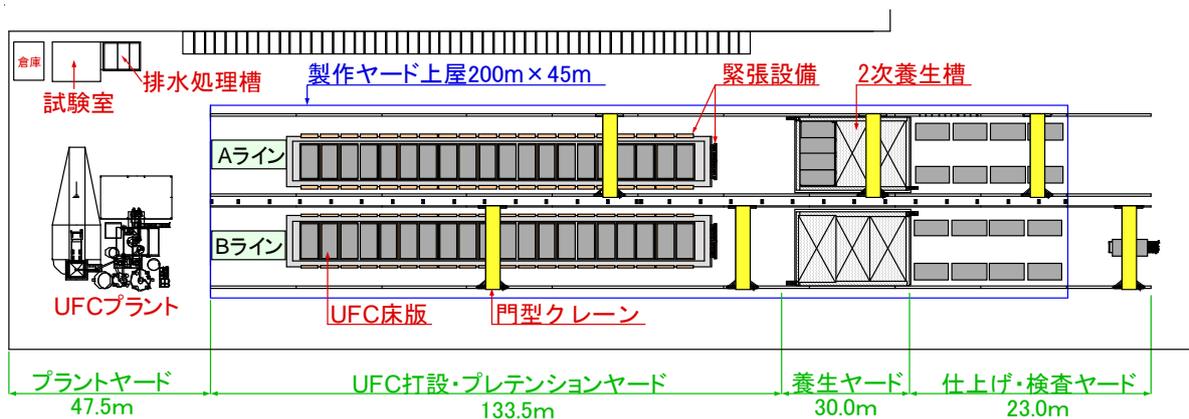


図-2 プレテンション生産ライン概要図

3.2 UFCバッチャープラントの概要

型枠20枚/ラインを2ライン用いて週80枚の製造を行うために、図-3に示すプレテンションラインにおける3日の製作サイクルを設定した。プレテンションラインでは、床版へのプレストレス導入がラインに設置されている全床版同時、つまり20枚同時となるため、各床版の材齢(マチュリティ)をできるだけ同一とする必要がある。そのためには、UFCの練混ぜと打設時間をできるだけ短くすることが必要であった。一方、RPC系UFC材料は水結合剤比が14%と極端に粉体に対する水量が少ないため、

練混ぜの初期には非常に粘性が高く、ミキサーに負荷がかかると共に練混ぜ時間を長く要する。通常、UFCの練りませ時間は材料投入から排出まで1バッチ15分程度であり、その場合32バッチ(1日のバッチ数)×15分=8時間となり、製作サイクルの面でも材齢の面でも問題が生ずる。そのため、材料投入の全自動化設備と改良高性能ミキサー配備した世界初のUFC専用自動バッチャープラント(写真-3)を開発した。このバッチャープラントは、粉体系の材料

供給の自動化と共に、ドラム缶ポーター(写真-4)を用いた鋼繊維運搬および自動計量システムを採用しており、UFC材料の全自動投入を実現した世界初のプラントである。練混ぜミキサーには強制練り水平2軸高性能ミキサーを採用し、UFC用にモータ出力のアップと攪拌羽改良により練混ぜ性能を最大限に高めている。全自動化による30秒程度の材料投入と改良高性能ミキサーにより、練混ぜ時間は1バッチ8分を実現し、1日の練混ぜ時間も32バッチ×8分=4.3時間と目標の練混ぜ時間(目標5時間以内)を確保することができた。また、練混ぜ時のミキサー負荷の推移(図-4)はモニターで視覚的に確認でき、品質管理と異常時の把握に非常に有効であった。

3.3 製作サイクルの短縮

図-3の製作サイクルに示すように、3日サイクルで床版製作を行ったが、作業量の関係上、一部夜勤を導入している。製作サイクル短縮の検討のため、製作期間の後半に夜勤なしの製作を行ったが、設備の整備や改良が進み作業員の技量の成熟度も高まったタイミングでは、問題なく昼勤のみの3日サイクルが可能であった。さらに言えば、夜勤を導入すれば2日サイクルも不可能ではなく、その場合は1ラインの型枠枚数が14枚でよく、バッチャープラントおよび製作設備の規模を約30%削減でき、設備投資をミニマムに抑え込むことができる。ただし、このサイクルが実現できるのは、設備の整備と作業員の技能向上後であり、数年以上の長期に渡り生産が継続することが条件である。今回のような短期間の製作では、製造リスクが高いため採用には慎重を要する。

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
Aライン	製作場	UFC打設					
	1次養生		40℃保持12-18hr				
	脱型						
	プレストレス導入						
	型枠組立						
	PC配置・緊張						
2次養生槽	第1槽			90℃・48hr保持			徐冷
	第2槽		昇温15℃/hr				
	第3槽						
検査場	端部処理						

図-3 製作サイクル



写真-3 UFC専用バッチャープラント



写真-4 ドラム缶ポーターによる鋼繊維供給

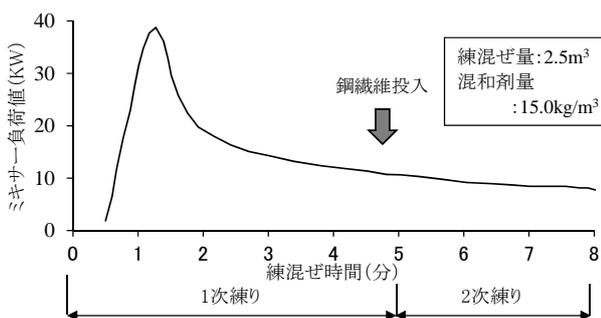


図-4 練混ぜ時間とミキサー負荷値

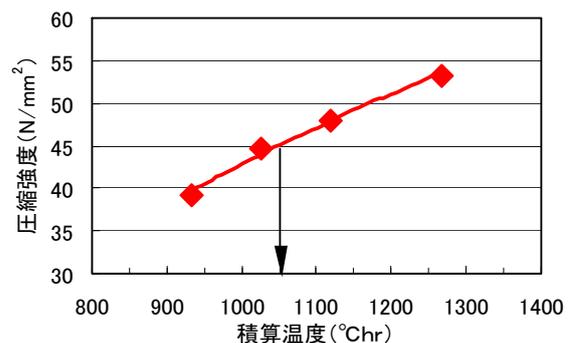


図-5 1次養生：圧縮強度と積算温度

3.4 養生時間の短縮

UFC床版の養生には、UFC打設から脱型するまでの1次養生（40℃：12～18hr）と、脱型後の強度発現促進のための2次養生（90℃：48hr）があり、いずれも湿潤状態の保持も兼ねた蒸気養生である。1次養生は、床版へのプレストレス導入の際に必要な床版強度45N/mm²を確保するための積算温度（℃×hr：マチュリティ）を基本として（図-5）、その時期の気温によりその養生時間を調整している。一方、2次養生は約200N/mm²の最終強度と耐久性の確保が目的であり、RPC系UFCの場合90℃の48時間保持とすることが慣例である。しかしながら、2次養生も一律の時間設定ではなく、1次養生と同様の思想で強度と耐久性確保に必要な十分な時間を確保すれば良いはずであり、養生時間の短縮によりコスト削減と、CO₂排出量の削減など環境への負荷の低減が可能となる。2次養生における必要時間確認のため、養生時間をパラメータとした試験を行った（図-6）。その結果、200N/mm²の圧縮強度を確保するには36時間、特性値の180N/mm²に余裕をもって確保もしくはUFC指針³⁾に示されている平均圧縮強度194N/mm²程度を確保するには24時間程度で良いことが分かった。この試験は、テストピースを用いた室内試験であるため、昇温および降温は15℃/hの速度で行っているが、実際の床版の2次養生の温度履歴（図-7）を確認すると、降温時には養生槽の断熱効果と養生槽内および床版に蓄熱された熱により、非常に緩やかに温度が下がり、降温に3日程度を要している。そのため、実際の床版では2次養生時間を短縮したとしても、降温時の予熱により十分な積算温度（マチュリティ）が確保できるものと考えられる。

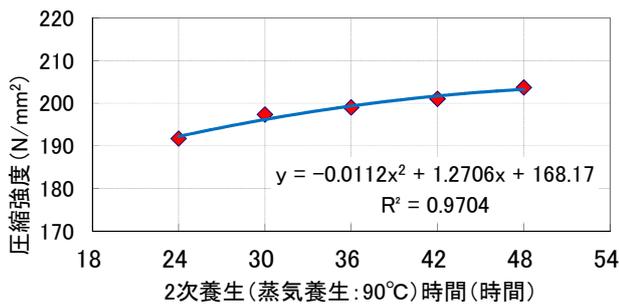


図-6 2次養生：圧縮強度と養生時間

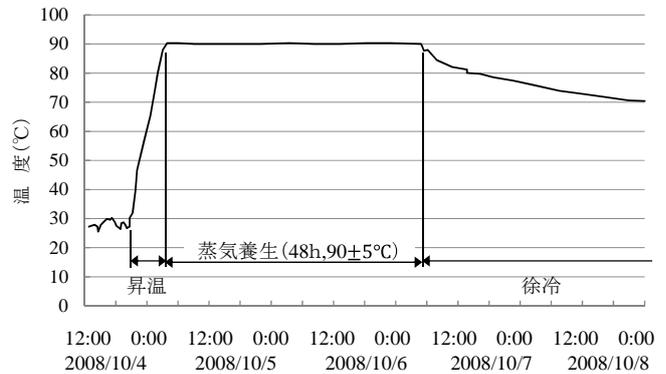


図-7 2次養生槽の温度履歴

4. おわりに

今回のUFC床版構造とその量産化システムは、性能と経済性のバランスに重点を置き、「シンプルであること」を常に念頭において開発を進めた。このシンプルさが、繰り返される床版製作におけるヒューマンエラーを防ぐと共に効率化を実現し、世界初のUFC構造物の量産化を無事達成できたキープポイントであったと考えている。ただ振り返ってみると、新しいUFC材料の適用であるがゆえに安全側の設定がなされている点も多く、今回紹介した製作時の効率化のみならず、設計手法や構造検証の方法に到る範囲まで、更なる効率化が十分可能であると考えられる。日本が世界に誇るUFC技術が、今後の実績の積み重ねと継続される技術開発により発展し、より合理的で効率的なUFC構造物が誕生することを確信して止まない。

参考文献

- 1) 武者 浩透, 大竹 明朗, 大熊 光, 野口 孝俊: 高耐荷UFC床版と量産化システムの開発, 第19回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2010.10
- 2) 大竹 明朗, 野口 孝俊, 大熊 光, 横井 謙二: 羽田D滑走路工事におけるUFC床版の製作, プレストレストコンクリート, Vol.52, No.1, pp15-23, 2010.11
- 3) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー113, 2004