

大平高架橋（PC上部工）工事施工報告

～ 押し出し工法での新しい施工技術について～

OIDAIRA Viaduct Construction Report - Incremental Launching Method Which is Adopted for PC Continuous Box Girder Bridge, and New Construction Technique

森谷 久吉
Hisayoshi MORIYA

川田建設(株)東京支店工事部部长

中山 良直
Yoshinao NAKAYAMA

川田建設(株)技術部設計課課長

法貴 裕
Yutaka HOUKI

川田建設(株)東京支店工事部工事課

杉山 貴昭
Takaaki SUGIYAMA

川田建設(株)東京支店工事部工事課

木場 貴之
Takayuki KIBA

川田建設(株)東京支店工事部工事課

大平高架橋は、第二東名高速道路の本線橋で、分散方式による押し出し工法で施工した橋長833 mのPC13径間連続箱桁橋である。耐久性を考慮した新しい技術を取り込んで、設計・施工を行った。本稿では、高性能AE減水剤を使用した50 N/mm²の高強度コンクリート、エポキシ被覆した大容量外ケーブル、プレグラウトタイプの床版横締PC鋼材、同時運動制御した押し出し装置、かぶりコンクリート剥落防止用のアラミド繊維、ポリブタジエンによる外ケーブル定着部の防錆、等の技術をピックアップして項目別に紹介する。

キーワード：高性能AE減水剤，分散方式押し出し工法，アラミド繊維，ポリブタジエン

1. はじめに

第二東名高速道路大平（おいだいら）高架橋は、静岡県浜北I.C～引佐I.C間の浜松浜北S.A西側に位置し、浜北市道（大平都田線）と二級河川（灰ノ木川）を跨ぐ、橋長833 mのPC13径間連続箱桁橋である。

大平高架橋は、分散方式による押し出し工法を採用し、A1・A2の両橋台から押し出して中央径間部で閉合する。押し出し桁長が490 m、押し出し支間長が64 mと、国内で最大級の押し出し施工規模である。

工事概要を以下に示す。

本稿は、PC橋の耐久性向上をめざすための最新技術を、押し出し工法で施工した大平高架橋をケーススタディ

として、項目別に報告する。その他の特徴である、

- ・全外ケーブルによる押し出し施工^{1),2)}
- ・リブ付き床版³⁾
- ・外ケーブルの横桁集中定着⁴⁾

などは、別の報告を参照していただきたい。

施工中の状況を写真1に、全体一般図を図1に示す。

2. 50 N/mm²の高強度コンクリート

本橋の特色のひとつは、50 N/mm²の高強度コンクリートの使用である。高強度とすることで、引張強度が大きくなるのでひび割れが発生しにくく、セメントペーストの組織が緻密になるので中性化の進行速度が遅くなり、耐久性が向上する。また、コンクリートの圧縮強度を増

表1 工事概要

工事名	第二東名高速道路 大平高架橋（PC上部工）工事
路線名	高速自動車国道 第二東海自動車道 横浜名古屋線
工事箇所	静岡県浜北市四大地～浜北市大平
構造形式	PC13径間連続箱桁橋
橋長	上り線 833.0 m 下り線 828.0 m
支間	上り線 (63.1 + 11@64.0 + 63.1)m 下り線 (63.05 + 11@64.0 + 58.05)m
有効幅員	上り線 16.5～16.729 m 下り線 16.5～24.550 m



写真1 施工状況

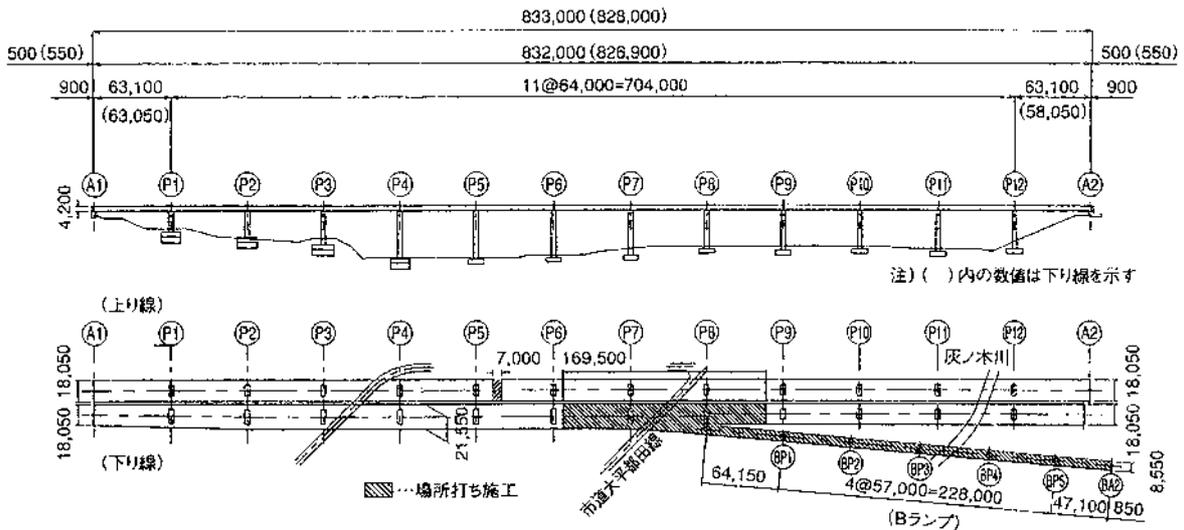


図1 全体一般図

加し、外ケーブル構造とすることで、主桁断面をスリム化し、橋体の軽量化・下部工反力の低減を図っている。

50 N/mm²のコンクリートは、JIS工場でのプレテンション橋けた用としては一般的に使用されているが、当現場付近（浜松・浜北近郊）の生コン工場での施工実績はなかった。そこで、事前に試験練りを繰り返し試行してから、現場施工の配合設計を決定した。そのフローは、図2に示すとおりである。

一般的なコンクリートの所要スランブは5～12 cmであるため、混和剤無添加のプレーンコンクリートの目標スランブを8 cmに設定した。50 N/mm²のコンクリート強度を得るための水セメント比（36%）と、耐久性を確保するための単位水量（145 kg/m³）では目標スランブに達しないため、高性能AE減水剤を使用することとした。高性能AE減水剤を使用する場合の所要スランブは12～18 cmであるが、スランブが小さ過ぎると充填性が悪く、スランブが大き過ぎると型枠から流出してしまうため、両者の施工性から15 cmとした。

高性能AE減水剤を用いたコンクリートは、大幅な凝結遅延、スランブの経時的変化（スランブロス）、過剰な空気連行性などの問題が生じやすい。そこで、高性能AE減水剤の計量を慎重に行い、骨材の含水状態に応じて単位水量を補正するとともに、練り上がり温度によってスランブ値が変動することから、夏期配合には遅延型（レオビルドSP8R）、標準配合には標準型（レオビルドSP8LS）と高性能AE剤の種類を使い分けた。

押出し工法で施工する橋梁は、押出しサイクルを短縮するために、早強セメントを使用するのが一般的である。しかし、本橋の中間支点横桁部は、桁高

4.2 m×下床版幅8.5 m×横桁厚3.0 mのマッシュなコンクリートであるため、水和熱によって温度ひび割れが生じ、耐久性を損ねることが考えられた。そこで、3次元の温度解析によって温度ひび割れのシミュレーションを行い、有害なひび割れを発生させない方法を検討した。早強セメントを普通セメントに変更することがひび割れ抑止に効果的であったことから、中間支点横桁のブロックのみを普通セメントで施工した（表2）。

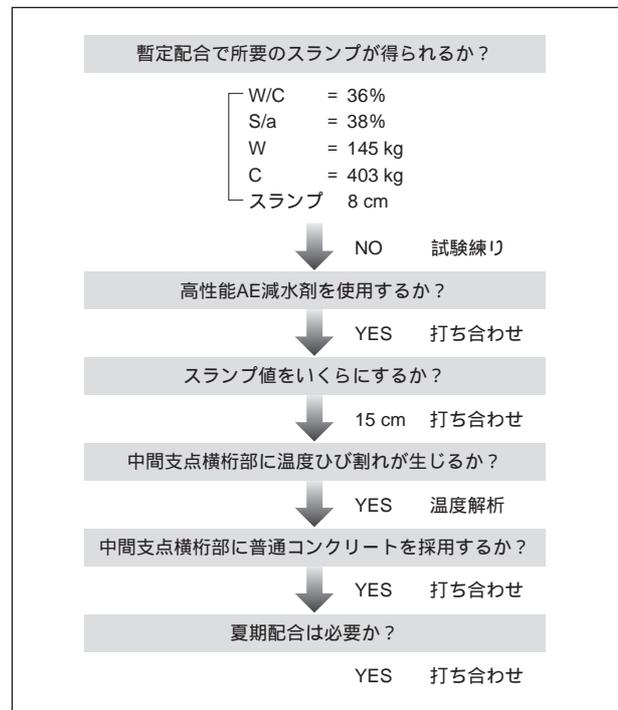


図2 コンクリートの検討フロー

表2 コンクリート示方配合表

施工箇所	セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
							水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
標準ブロック	早強ポルトランド	25	15±2.5	4.5±1.5	37.0	37.0	155.0	419	647	1 113	4.818
横桁ブロック	普通ポルトランド	25	15±2.5	4.5±1.5	36.9	40.0	139.0	377	731	1 108	4.901

3. エポキシ被覆した大容量外ケーブル

(1) 材 料

主ケーブルは、完成系用・架設系用ともに大容量の27S15.2ケーブルを使用した。完成系ケーブルはエポキシ被覆で防錆したケーブル、架設系ケーブルは防錆処理を施していない裸線ケーブルを用いた。エポキシ被覆ケーブルと裸線ケーブルとでは、アンカーヘッドや定着ウェッジが異なるため、保管場所を変えるとともに、部品にマークを付けて誤使用がないように注意した。

(2) 運搬・緊張時の留意点

エポキシ被覆ケーブルは、被覆膜を傷付けると、錆が発生しやすく耐久性を損なうため、運搬・保管・挿入の各施工段階において、細心の注意を払った。当現場ではケーブル挿入を27本一括で行い、被覆膜の傷を防ぐため、棚筋用単管には塩ビ管を被せ、偏向鉄管にはPE管を内挿し、金属部分と直接触れないようにした(写真2)。

また、挿入時にケーブルがばらついて傷付けないよう



写真2 外ケーブル棚筋



写真3 アンリローラーによる展開挿入



写真4 ターンローラーによる展開挿入

に留意した。当初は、ケーブルをリールに巻いてアンリローラーで展開挿入したが(写真3)、ばらつき抑止には効果が見られなかった。そこで、ケーブルをトグロに巻いてターンテーブルで展開挿入する方法に変更した(写真4)。

所要の緊張力を導入して高耐久な構造物を建造するため、27本の各ケーブルに設計値どおりの張力を均一に与えるよう配慮した。27本に均一な張力を与えるために、ケーブルが棚筋から離れるくらいまで一度緊張し、大きくたるんでいるケーブルがある場合には、シングルジャッキを用いて引き揃えた。たわんでいるケーブルを緊張端で判別する方法として、振動を与える方法が効果的であった。また、エポキシ被覆ケーブルは、運搬時に巻いた癖が戻りにくかったため、緊張管理時伸び測定用マークを付ける際の圧力を大きめに設定し、巻き癖を解放した状態で緊張管理を行った。

4. プレグラウトタイプの床版横締PC鋼材

(1) 材 料

床版横締・横桁横締用のPC鋼材は、太径シングルストランド(1S28.6)を使用した。

グラウトは、充填が不完全であると、PC鋼材の腐食やひび割れ幅の拡大等によって耐久性を損なうため、ノンブリージングタイプの使用や流量計測によって完全充填を図っているが、本橋においてはエポキシ樹脂で硬化するプレグラウトタイプを使用した。

プレグラウトケーブルに使用されているエポキシ樹脂は、開発当初は熱硬化型のため、コンクリート硬化時の水和熱量によって硬化時間に差異が生じていた。ところが最近になって、エポキシ樹脂中の水分と反応して硬化が進む湿気硬化型が開発された。そこで、本工事においては、硬化反応の信頼性がより高い湿気硬化型を採用した。図3に、湿気硬化型エポキシ樹脂の硬化メカニズムを示す。

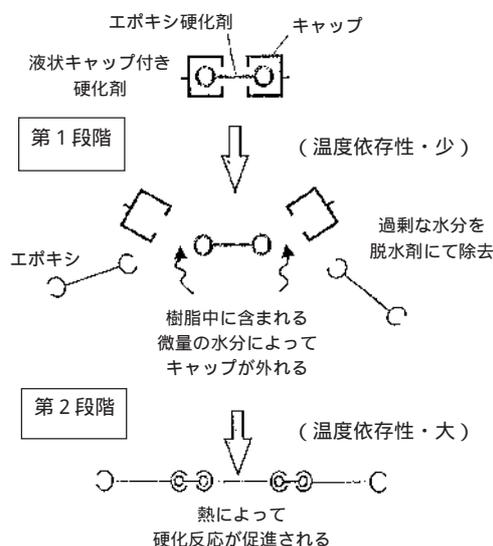


図3 湿気硬化型エポキシ樹脂の硬化メカニズム

(2) 運搬・緊張時の留意点

円形に巻かれたケーブルを立てた状態で運搬すると、振動により、プレグラウト鋼より線に素線長さのばらつきが見られた(写真5)。これは、端末キャップにズレ止め金具を付けることで解消した(図4)。しかし、夏場気温が高くなると、ポリエチレンシースが伸びてしまい、ズレ止め金具が機能しなくなるため注意が必要である。

緊張時に、シースの切断不良やゴミなどにより、支圧板、定着具が密接していない場合、ケーブルの定着に関して不具合が生じる可能性がある。このため、シースの切除面を仕上げる装置を工夫した。



写真5 より線のばらつき

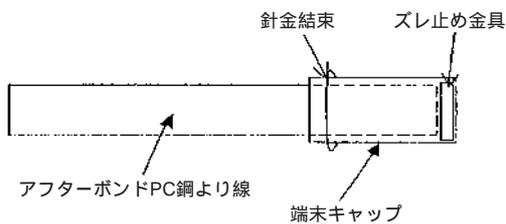


図4 不揃い対策

5. 同時連動制御した押し出し装置

(1) 押し出し施工

本橋では、上り線の1支点あたり最大反力は25 000 kNであり、各橋脚には8 000 kN鉛直ジャッキを4台配置した。分散方式の押し出し装置は、鉛直ジャッキの他に、水平架台およびスライドプレート、水平ジャッキ、電動ポンプから構成されており(写真6)、押し出しは図5の押し出し施工要領図に示すように、4つのステップの繰り返しである。なお、1サイクル(押し出し長47 cm)の所要時間は平均約15分であり、1ブロック16 mの押し出し作業(約34サイクル)に要する時間は、押し出し工の準備を含めて約8時間であった。

主桁底面の不陸などの影響を排除し、なじみを良くするために架台部にゴム層を挿入したが、主桁反力を盛り替えるためには鉛直ジャッキで15 mm持ち上げる必要が



写真6 押し出し装置配置状況

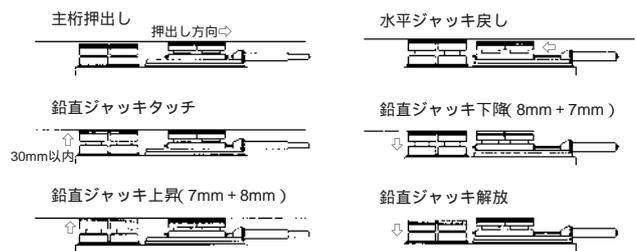


図5 押し出し施工要領図

あった。本橋は、中間支点横桁部のみ定着する全外ケーブル構造であるため、製作ヤード部を押し出す最中は、主ケーブルを緊張しないRC構造の状態である。このため、支点が15 mm不等沈下を生じると、主桁コンクリートにひび割れが発生し、長期的な耐久性を損なう可能性があった。そこで、ジャッキが連動するように分岐装置を取り付けたシステムとし、その上、ジャッキ始動時のタイムラグによる悪影響を解消するため、ジャッキ操作を2段階に分けて行い、8 mm以上の不等沈下が生じ得ない施工方法とした。

(2) 反力管理システム

本橋に採用した押し出し施工管理システムを図6に示す。

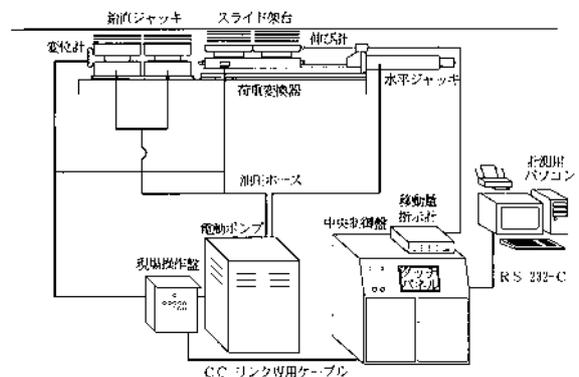


図6 押し出し装置システム図

また、全橋脚の押し出し装置を集中制御した中央制御室での管理状況を写真7に示す。



写真7 押し出し作業状況（中央制御室）

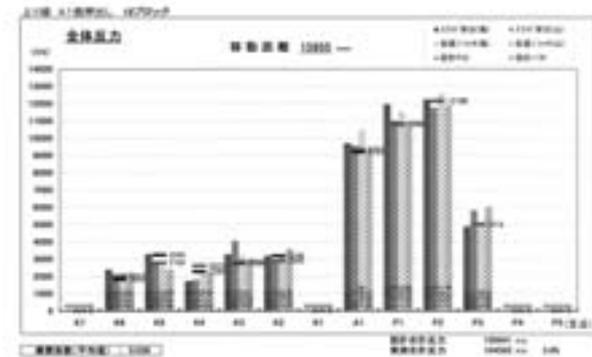


図7 反力管理図

反力管理は、あらかじめ各支点の全サイクルにおける設計反力値をパソコンに入力しておき、押し出し時に各ジャッキで計測される反力と比較して行った（図7）。設計値との誤差が大きい場合や同一橋脚の左右での反力差が大きい場合には、薄鉄板（1,2,3,5,10 mm）を出し入れして1 mm単位で高さを調節し、反力調整を行った。

6. かぶりコンクリート剥落防止用のアラミド繊維

(1) 繊維補強コンクリート施工の背景

コンクリートが劣化して剥落するような事態が生じると、直下を通行する第三者に危害を及ぼす恐れがある。そこで、コンクリートの剥落防止を目的として、かぶりコンクリートの表面付近に埋め込むための繊維シートが開発された。短繊維を混入したコンクリートや、連続繊維シートを既設コンクリートに巻き付ける工法に関しては実用化が図られているが、繊維シートを新設橋梁に使用した施工実績はなく、施工要領や指針も整備されていないのが現状である。

(2) 現場施工

繊維シートは、アラミド製の紐を三軸方向に目の荒い網状（1辺4 cmの正三角形の網目）に編んだもので、繊維シートがコンクリート表面に露出しないよう、珪砂粒を付着させてある。

型枠への固定は、以下に示すような方法とした。

- ・底面部...型枠上に繊維シートを敷設し、鉄筋組立時に鉄筋組立用スペーサーで押さえつける。

- ・側面部...型枠に60 cm間隔に穴（4）をあけ、インシュロックタイ（電線を束ねるプラスチック状のひも）を通し型枠の内側はガラス棒、外側は竹籤と緊結して仮固定し、中間部は、鉄筋組立用スペーサーや型枠用Pコンにて押さえつける。

コンクリート打設前の型枠清掃は、通常の場合、コンプレッサーで吹き飛ばすかハイウォッシャーで洗い流す方法が取られるが、繊維シートを貼り付けた型枠の場合は、結束線等の大きなゴミを手で取り除き、珪砂粒等の小さなゴミを掃除機で吸い取る必要があった。また、土埃を持ち込まないように、製作ヤードの入り口に洗い場を設け、安全靴を水洗いしてから入場するようにした。

コンクリート打設においては、ペースト分が繊維シートを十分覆い、ジャンカ等の施工不良が生じないように、入念な締固めを行った。



写真8 アラミド繊維シート貼付完了状況

7. ポリブタジエンによる外ケーブル定着部の防錆

(1) 防錆材料の選定

外ケーブル構造の場合、定着部まわりの防錆が特に重要である。ウエッジ部は、唯一エポキシ樹脂塗装を傷つけ、PC鋼材を露出させる箇所であるため、防錆材料として、以下の特徴を有するウレタンポリブタジエン系のサーモスルーM75を選定した。

- ・低粘度で流動性が良く、小さな隙間にも浸透する。
- ・常温で反応してゴム弾性体となり、収縮を生じない。
- ・弾力性に富み、ケーブルの伸縮や振動に追従する。

(2) 品質管理

サーモスルーM75の特徴は、(1)に示すとおりであるが、最も期待されるのは防錆効果である。しかし、日本道路公団では、防錆材としてのポリブタジエンの品質管理を記述するものはない。そこで本橋では、サーモスルーM75の物性を管理し、＜品質が確保されている＝防錆効果がある＞として、現場管理・品質管理を行うものとした。

管理項目は、以下に示すとおりとした。

現場管理

- ・粘度試験管理
- ・チェックシート（注入箇所毎の作業記録，注入量，

注入時間)

品質管理 (硬化を確認後, 7日間養生)

- ・ 硬度
- ・ パネ定数
- ・ 硬化物比重

本橋では, 実施工を行う前に, 試験体を用いて試験施工を行った。試験結果は, 充填性においては満足するものであったが, 気泡の発生が問題となった。原因は, 気温36 のもとで試験を行ったことから, 練り上がり温度が38 となったためである。当初, 練り上がり温度は, 粘度の高低に関係し, 注入時間に影響する程度と考えていたが, 主剤と硬化剤の反応プロセスに温度管理が必要ということが判明し, この試験施工により練り上がり温度の上限を決めることができた。

しかしながら上記の管理項目は, 製品の品質管理であり, 必ずしも防錆効果を直接管理するものではない。防錆効果を判定する品質管理項目として, 電気絶縁性に関する表面抵抗測定法が検討されている。

(3) 現場施工

現場施工にあたり最も重視したのはシール作業である。低粘度で流動性に富むサーモスルーは, ウエッジ部等の小さな隙間を埋めるという長所を有する反面, 小さな小さな隙間からでも漏れ出てしまうという短所を有している。そこで, シール作業は, 少しでも漏れる可能性



写真9 試験施工状況

がある所 (アンカーキャップの溶接部等) は全てシリコンシール材および発砲ウレタンにて行った。

作業手順は図8に示すとおりである。また, 試験施工の状況を写真9に示す。

8. おわりに

PC工事の現場における耐久性についての取り組みに関する1つの事例として, 参考にいただければ幸いです。工事報告としてまとめると, どうしても押出し工法の説明となってしまうため, あえてこのような形式を採用した。本報告の他に, 設計・施工それぞれについて報告されたものがあるので, 押出しに関してはそちらを参考にいただきたいと思います¹⁾⁻⁴⁾。

同時に2基の手延べ桁を稼働させる事業所は, これから先もきつとないものと予想される。このようなプロジェクトに参加する機会を得て, いくばくかの技術情報の提供ができれば幸いです。

技術面・安全面につねづねご指導いただいている日本道路公団静岡建設局浜松工事事務所の皆様と, JV構成員であるオリエンタル建設(株)ならびに(株)銭高組の設計・工事関係者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 石川：押出し工法におけるPC橋の施工管理, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.6, pp.70-75, 2001.11.
- 2) 福永, 藤島, 横山, 石川：第二東名高速道路大平高架橋の設計 - 全外ケーブルによる押出し架設工法 -, 第10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, pp.485-490, 2000.10.
- 3) 岩立, 藤島, 横山, 中山：第二東名高速道路~リブ付き床版の設計~, 第10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, pp.349-354, 2000.10.
- 4) 星, 福永, 武田, 石川：外ケーブル定着横桁の設計 (第二東名大平高架橋), 第11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, pp.311-314, 2001.11.

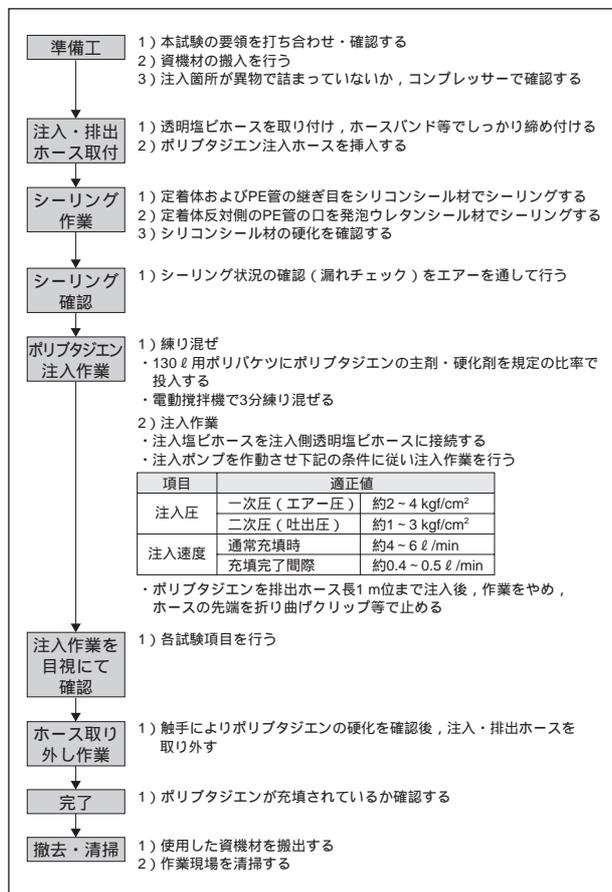


図8 ポリブタジエン作業手順