

建設10年後の下部工調査と トンネル覆工コンクリートの目視評価

徳山工業高等専門学校

土木建築工学科

温品達也

建設10年後の下部工調査

1. 研究背景

2005年～

「**コンクリート構造物ひび割れ抑制対策**」

適切な設計と施工体制のもと
施工時のひび割れを抑制

土木学会350委員会

構造物の品質向上も明らかに

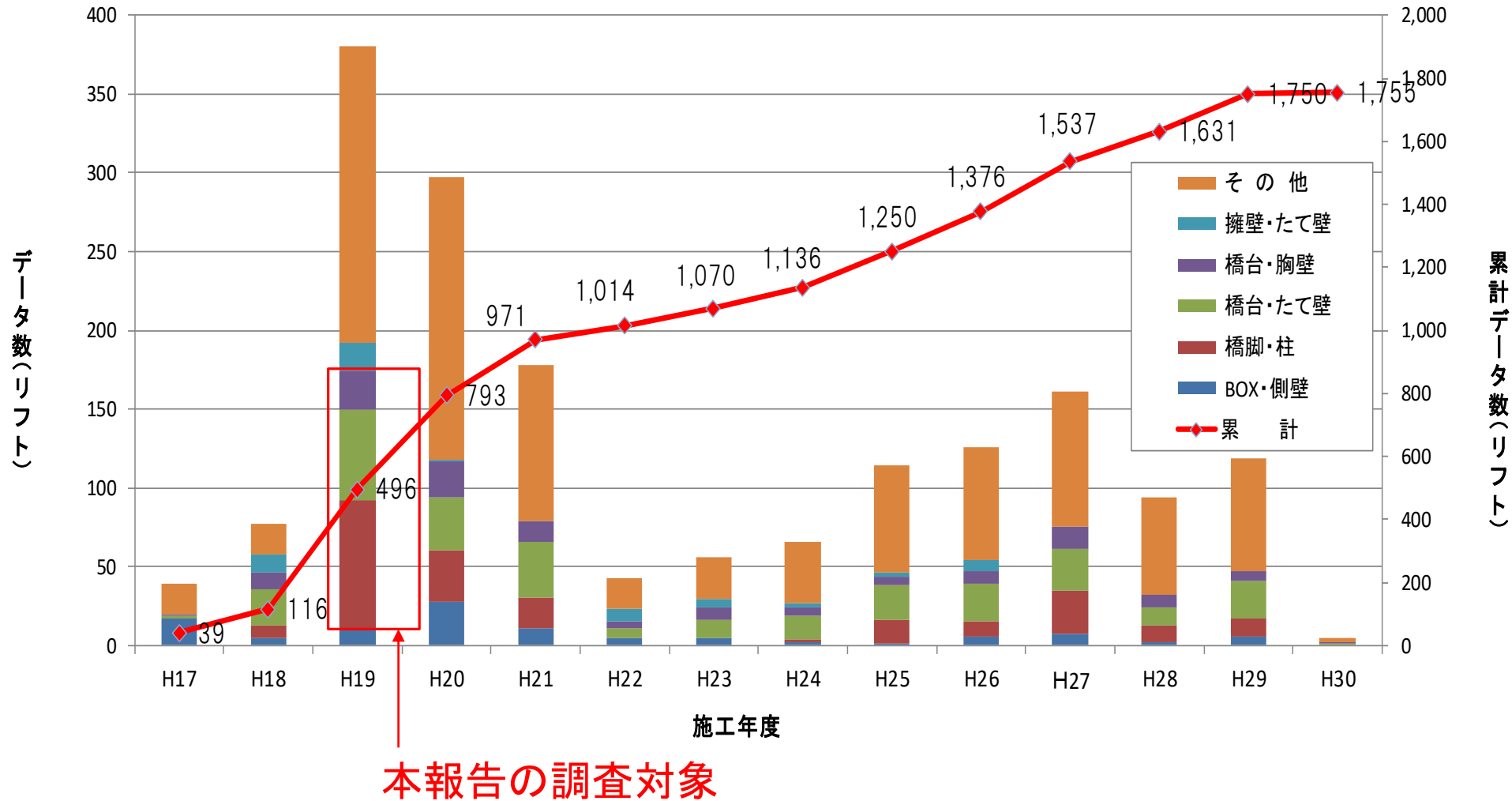
2014年～

「**コンクリート構造物品質確保**」

施工から10年経過した構造物が現れはじめ、これらのひび割れ抑制や進展を今後の設計や施工・維持管理にフィードバックしていくことが非常に重要

【施工状況把握チェックシート(コンクリート打込み時)】										
事務所名	〇〇土木建築事務所		工事名	県道〇〇線 道路改良工事		工区	1			
構造物名	〇〇橋 A1橋台		部位	たて壁		リフト	2			
受注者	〇〇建設(株)		確認者	〇〇技師						
配合	27-8-20BB		確認日時	2012/10/11(木) 7:30~13:30						
打込み開始時刻	予定	8:00	実績	8:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴		
打込み終了時刻	予定	12:00	実績	12:20	打込み量(m³)	80	リフト高(m)	3.0		
施工段階	チェック項目								記述	確認
準備	運搬装置・打込み設備は汚れていないか。								-	○
	型枠面は濡らせているか。								-	○
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。								-	※1
	かぶり内に結束線はないか。								-	○
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等を取り除き、ぬらしているか。								-	○
運搬	コンクリート打込み作業員(※)に余拍を持たせているか。								8人	○
	予備のバイブレータを準備しているか。								4台中1台	○
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。								-	○
	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。								50分	○
	打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。								-
鉄筋や型枠は乱れていないか。								-	○	
横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。								-	○	
コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。								-	○	
コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。								-	○	
締固め	一層の高さは、50cm以下としているか。								50cm	○
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。								-	○
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。								約1.8m	※2
	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。								-	○
	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。								-	○
養生	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下としているか。								-	○
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。								-	○
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。								-	○
	バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。								-	○
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。								-	○
要改善事項等	コンクリートの露出面を湿潤状態に保っているか。								養生については、後日記入をする。	○
	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。								10日間	○
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。								-	○
※1 型枠内部に結束線(3本)が落ちていたため、打込み前に取り除かせた。 ※2 排出口から打込み面までの高さが、明らかに1.5m以上であるため、口頭で注意したところ、是正された。 上記※1、※2については是正を確認するため、次回打込み時も施工状況把握を行うことを、工事打合せ簿にて通知する。 ※コンクリート打込み作業員…コンクリートの打込み・締固め作業時の人員のうち、直接作業に携わらない者(監理主任技術者やポンプ車運転手等)を除いた人員										

2. 調査対象構造物



2. 調査対象構造物

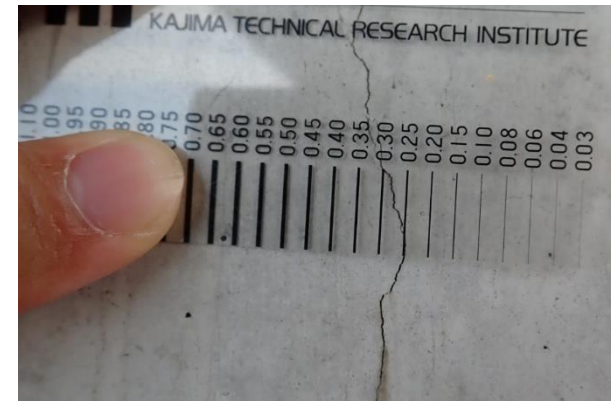


鉄筋比: 0.2~0.3程度
リフト幅: 5~15m程度
打込み温度: 10~30°Cと様々

12橋台
11橋脚
34リフト

3. 調査方法

- ひび割れ長さの測定
- ひび割れ幅の測定
- スケッチと写真の記録



Point

- コンベックスや図面を用いてひび割れ長を計測
- ひび割れ幅と長さで面積を算出



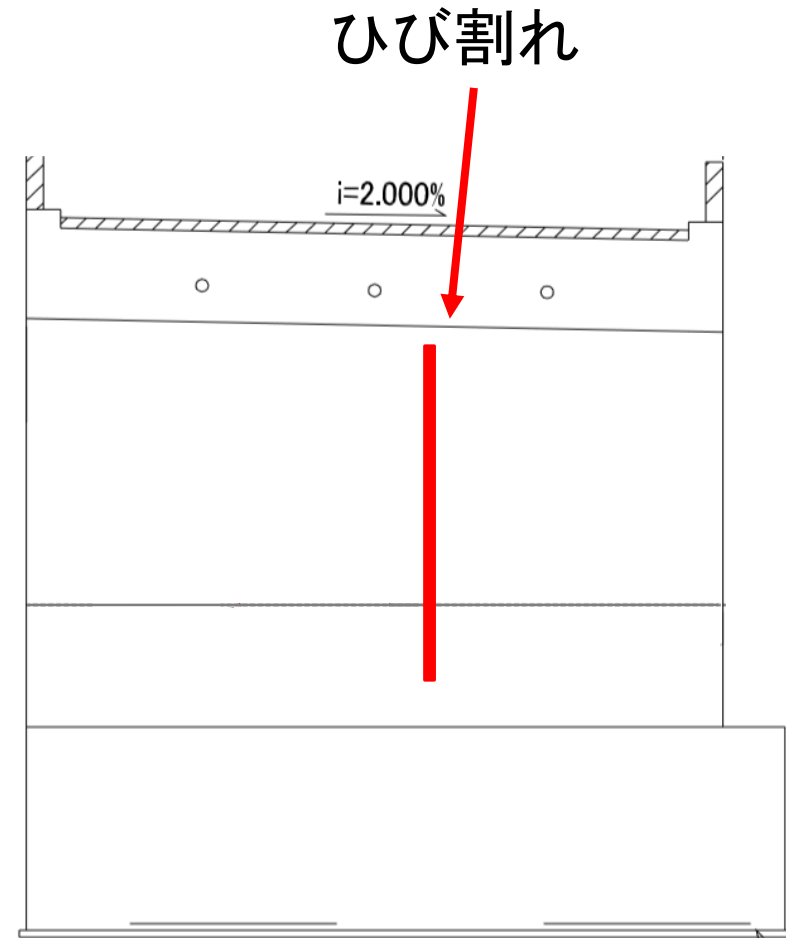
➤ ひび割れ幅の測定

■ 従来

→ 最大ひび割れ幅を計測

■ 今回

→ 四等分する点の3カ所を測定し、その平均値を出す



3. 調査方法

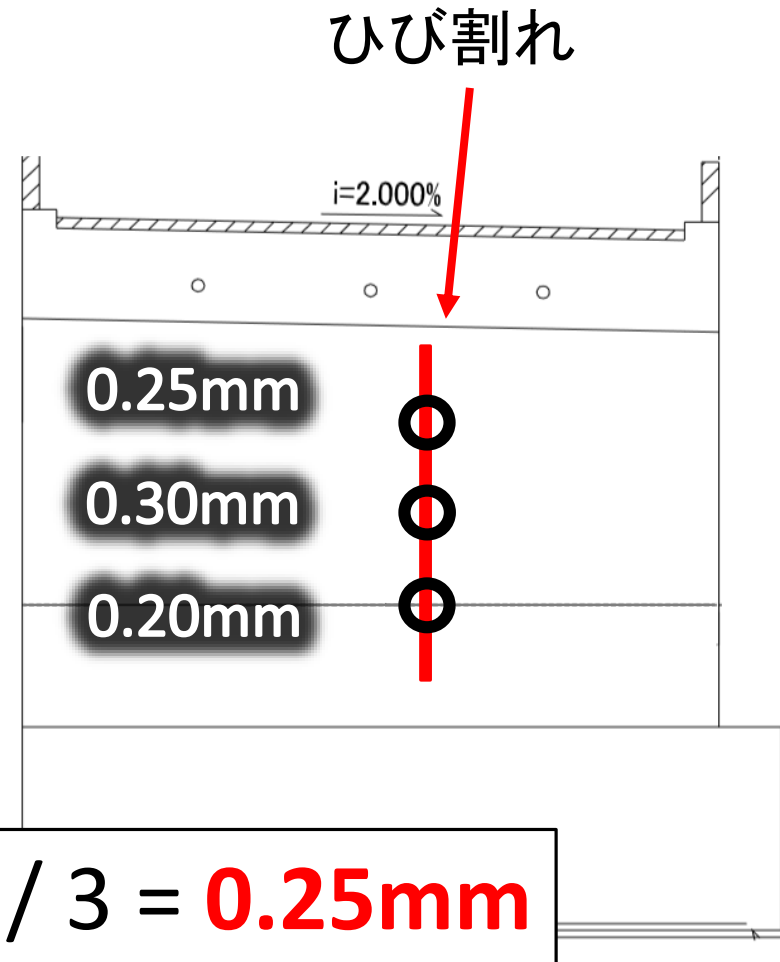
➤ ひび割れ幅の測定

■ 従来

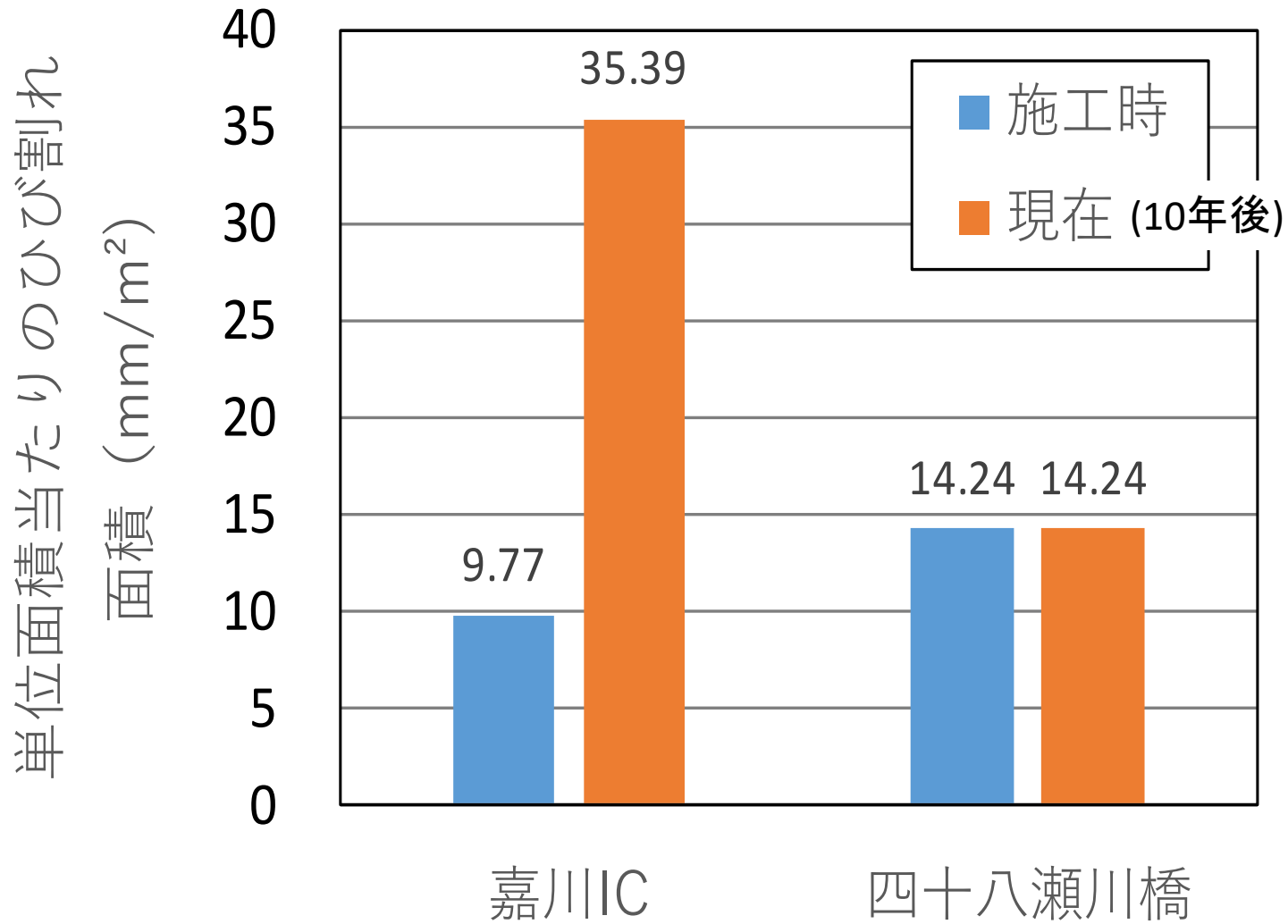
→ 最大ひび割れ幅を計測

■ 今回

→ 四等分する点の3カ所を測定し、その平均値を出す



4. 調査結果



4. 調査結果

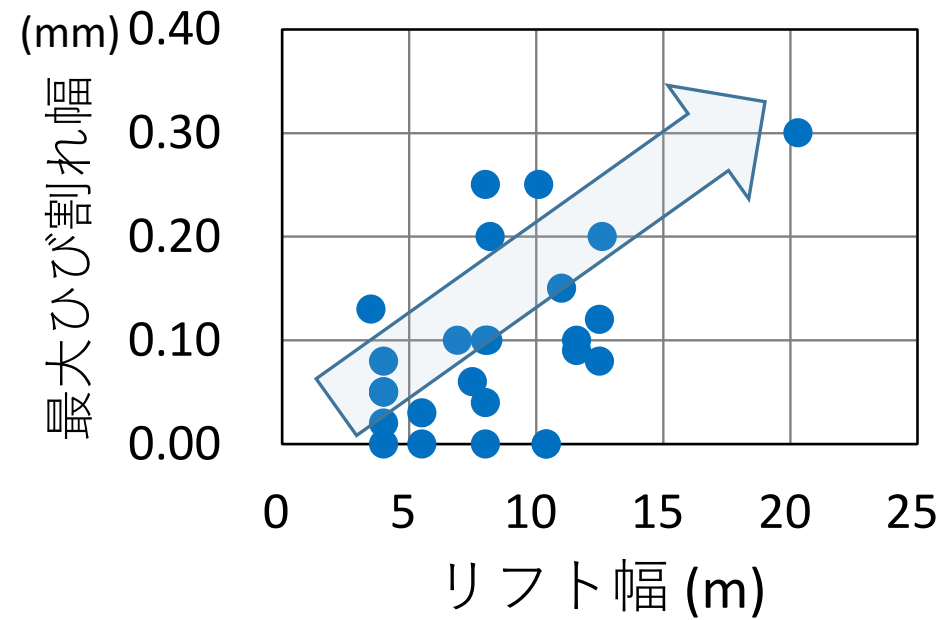
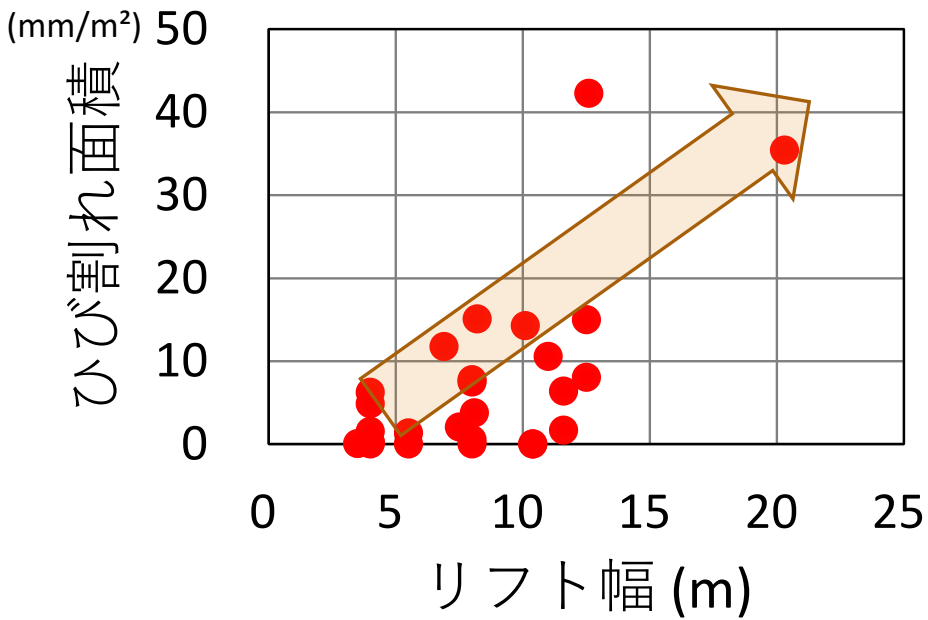
- ・ 最大ひび割れ幅
- ・ 単位面積当たりのひび割れ面積

リフト幅
鉄筋比
打込み温度etc



4. 調査結果

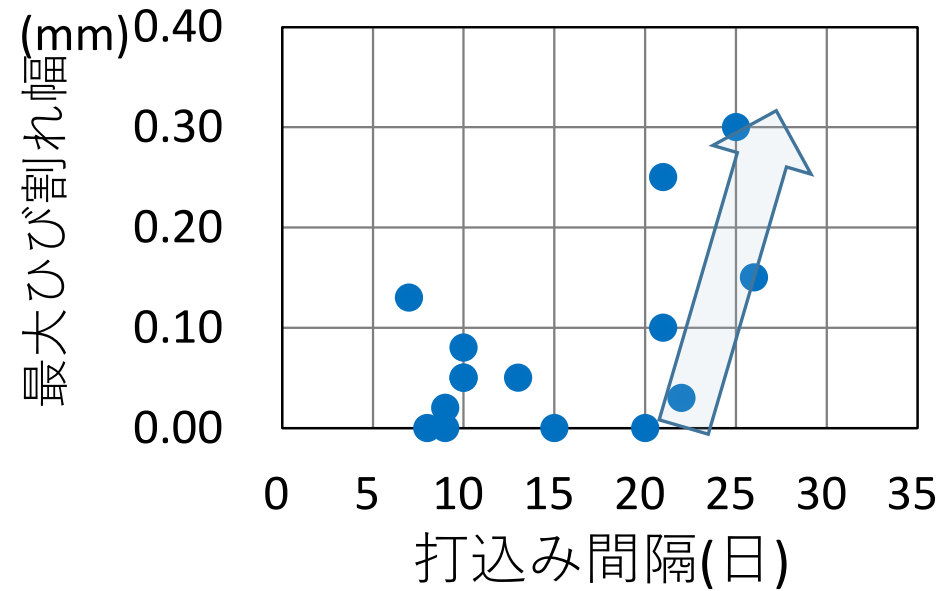
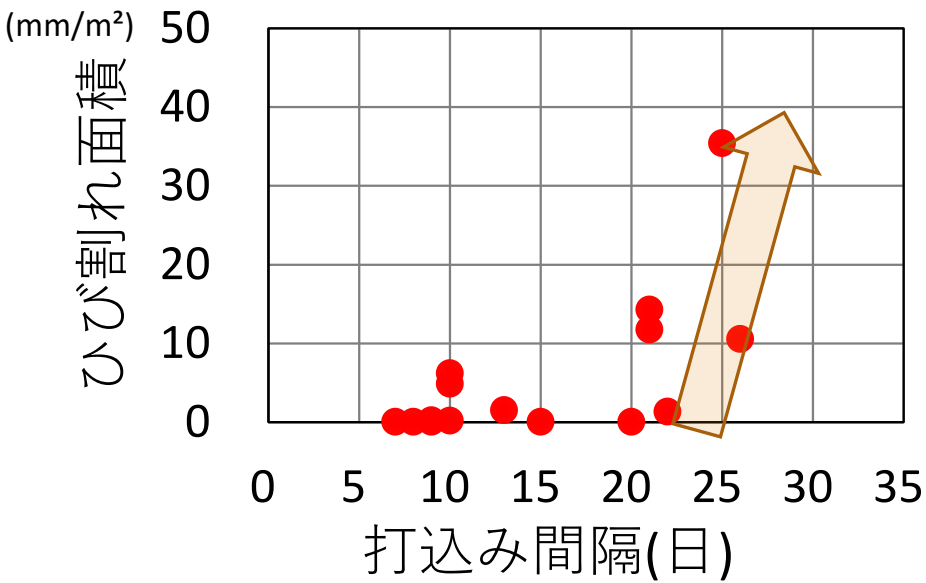
➤ リフト幅



リフト幅が増加するとひび割れも増大

4. 調査結果

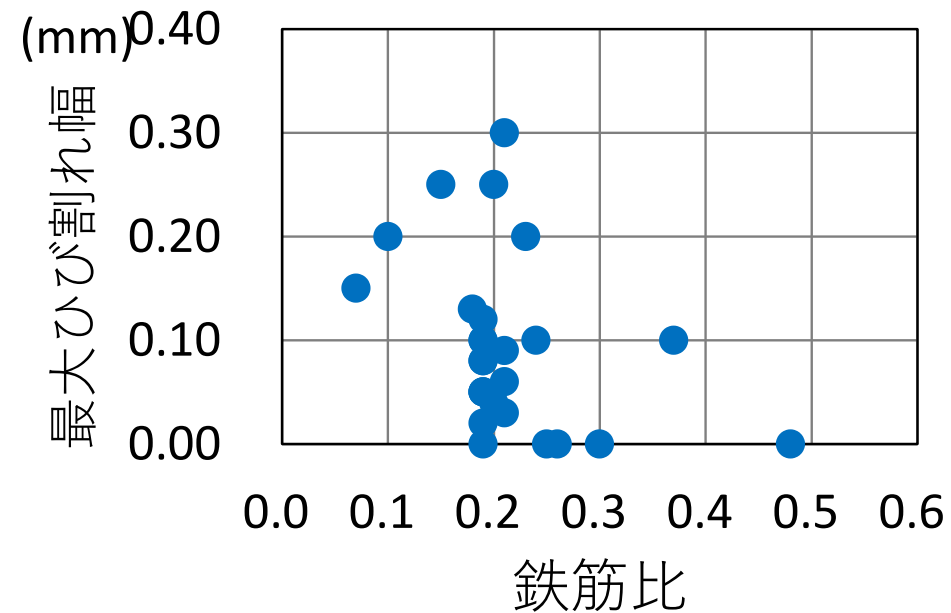
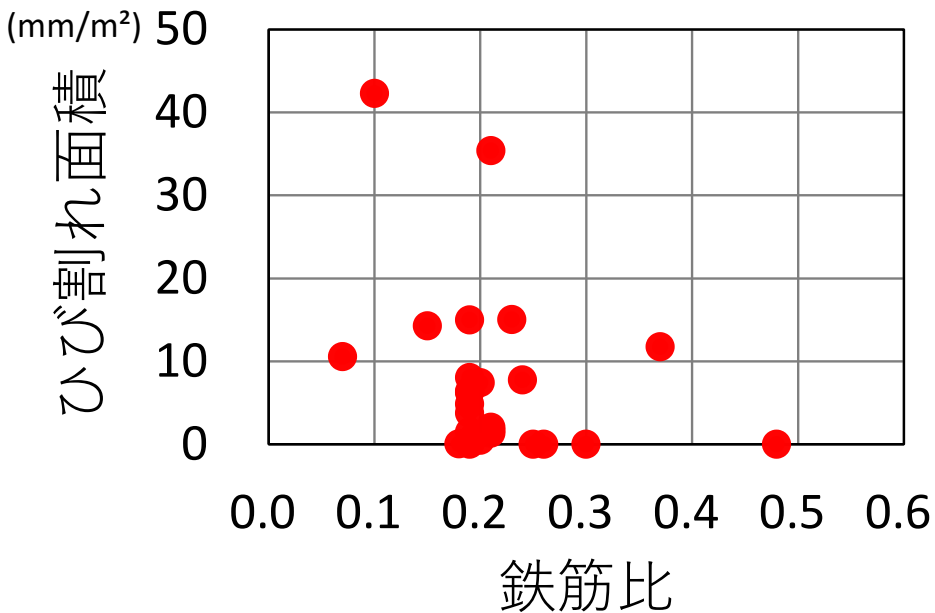
➤ 打込み間隔



打込み間隔が20日を超えると
ひび割れリスクが増大

4. 調査結果

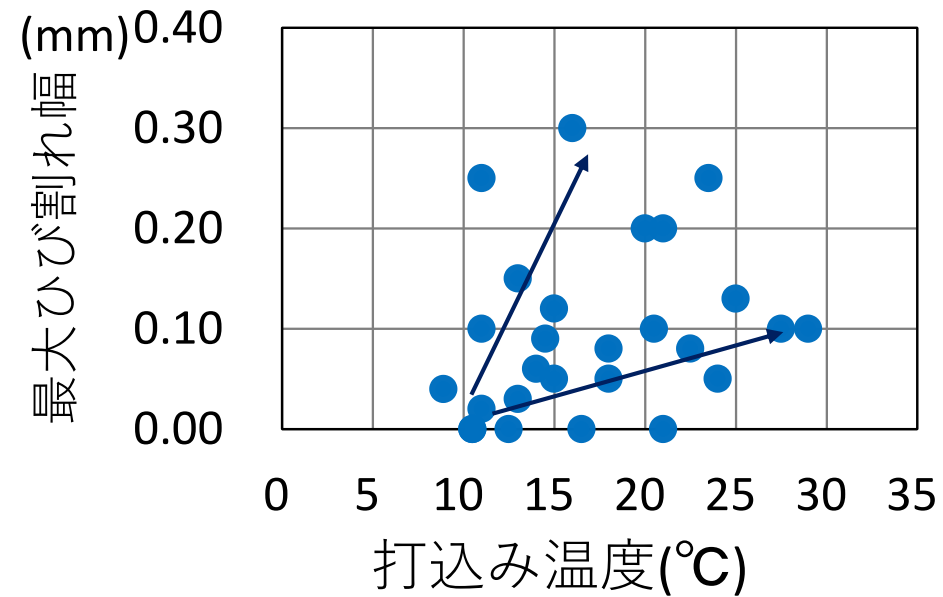
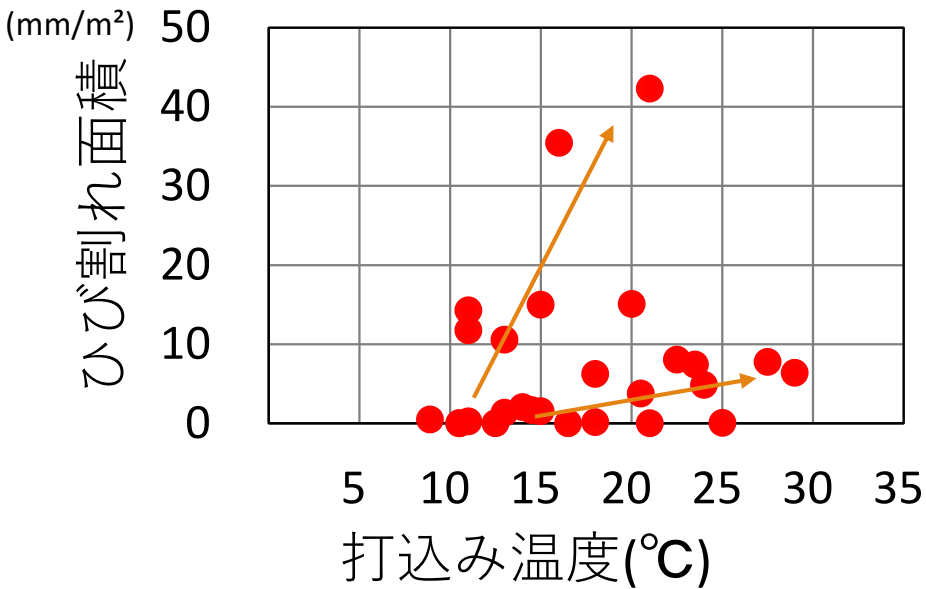
➤ 鉄筋比



ひび割れ抑制対策により鉄筋比は0.2付近が多い

4. 調査結果

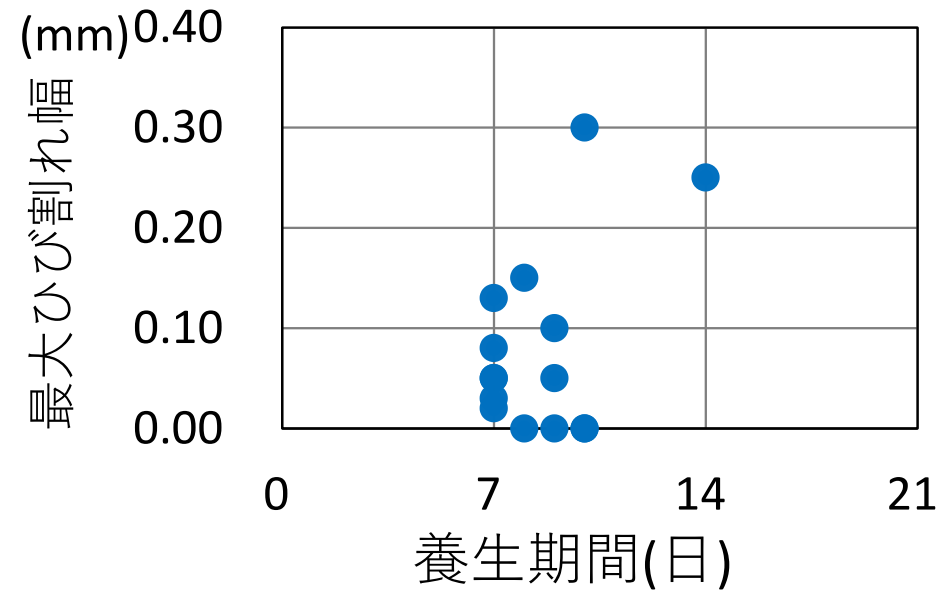
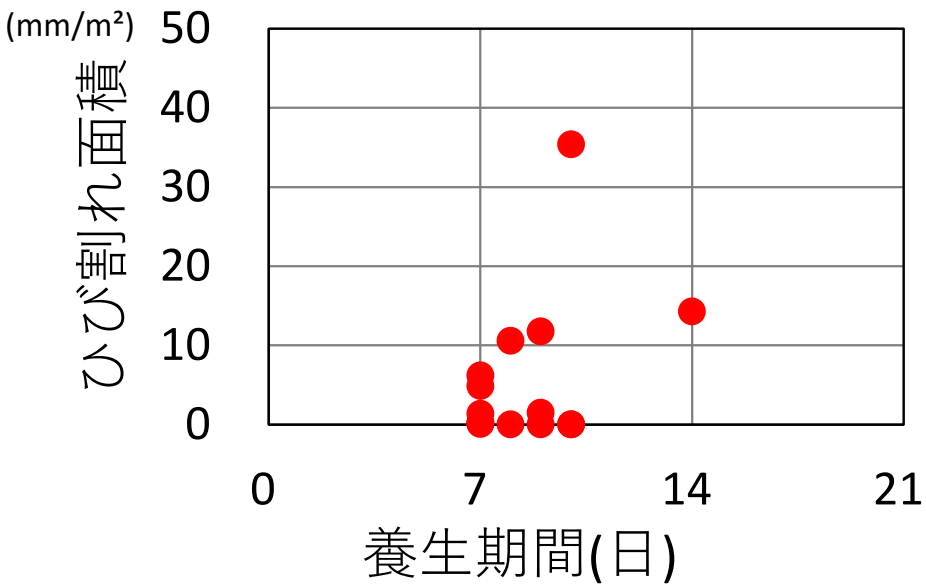
➤ コンクリート打込み温度



温度上昇でひび割れは増加
抑制できているケースも多い

4. 調査結果

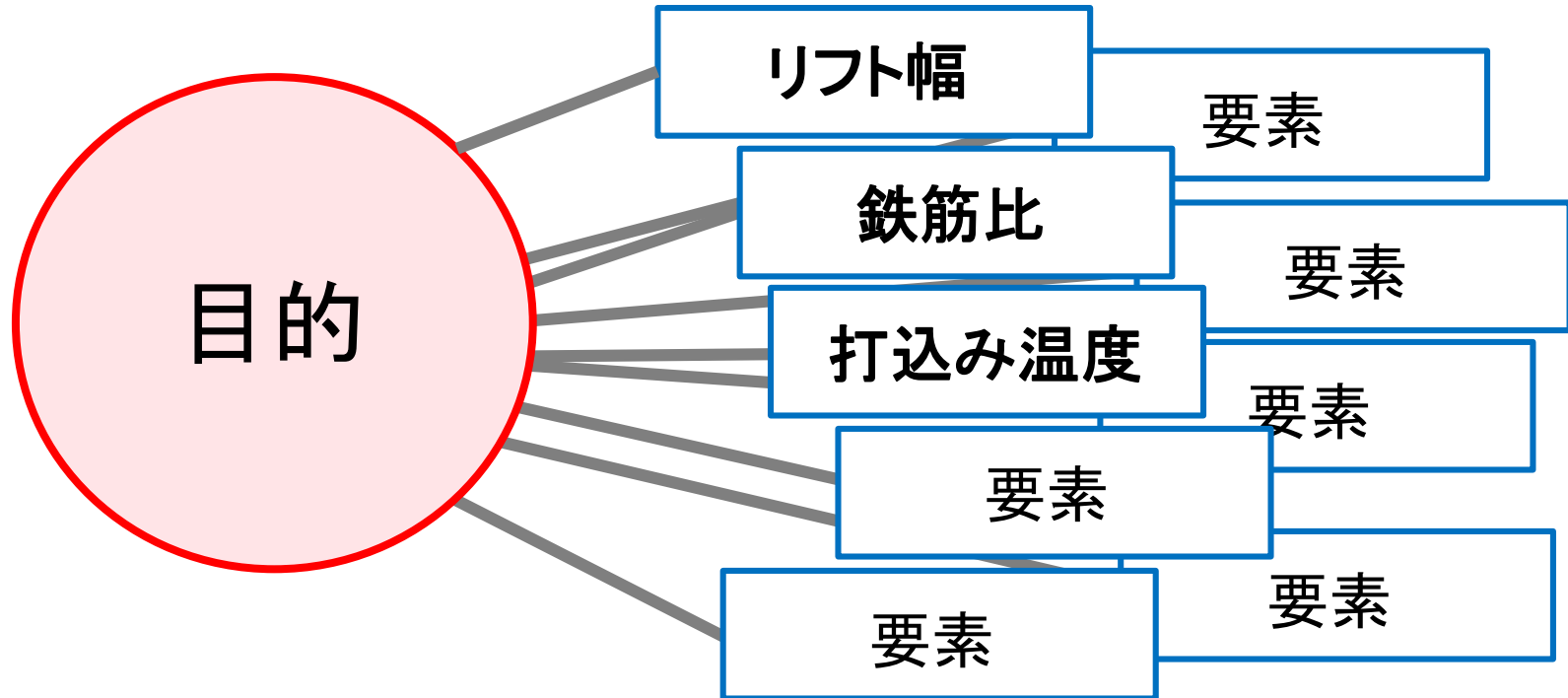
➤ 養生日数



4. 重回帰分析

➤ 重回帰分析とは

1つの目的変数を複数の要素変数で予測するもの



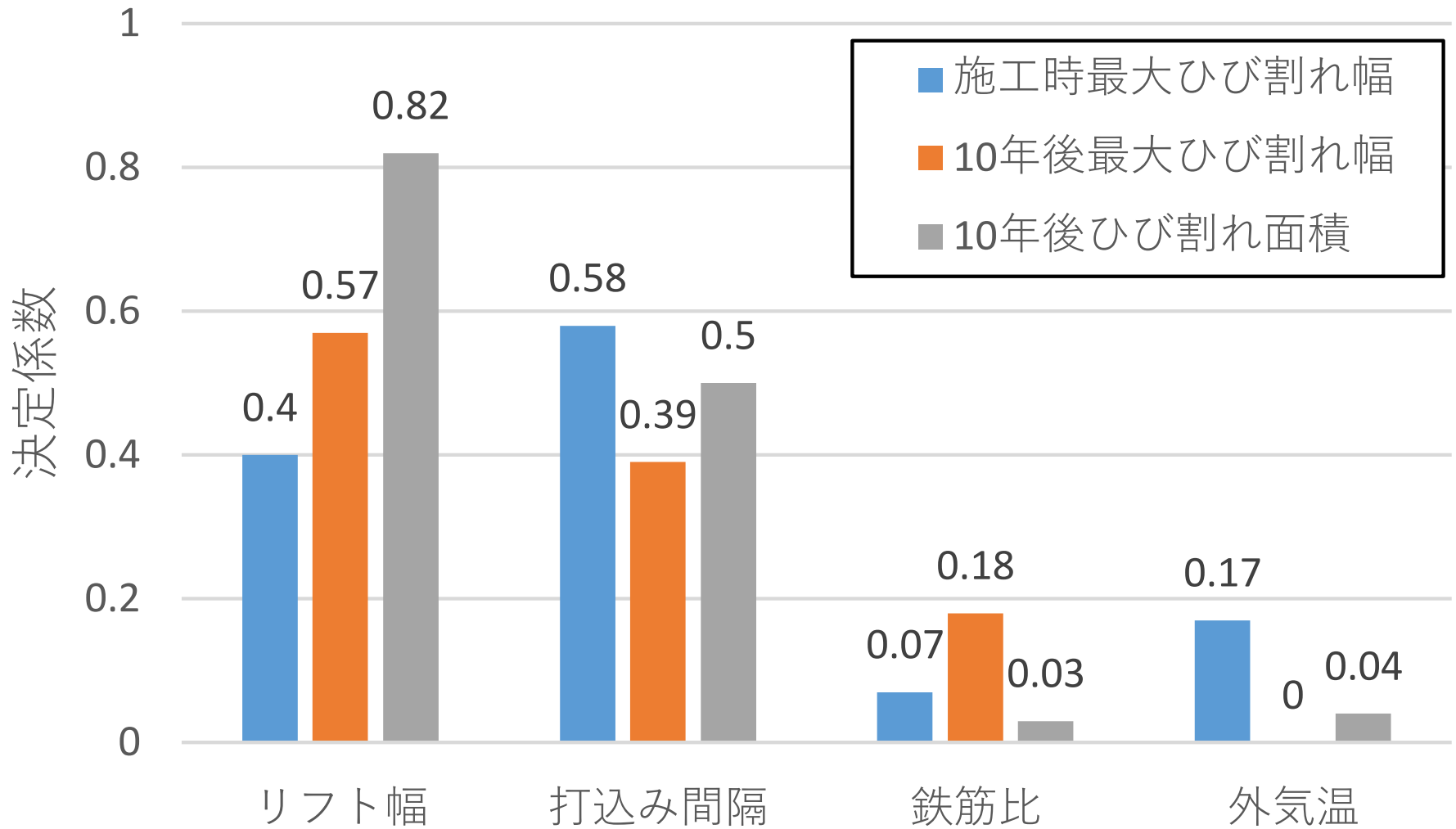
4. 重回帰分析

➤ 重回帰分析の採用

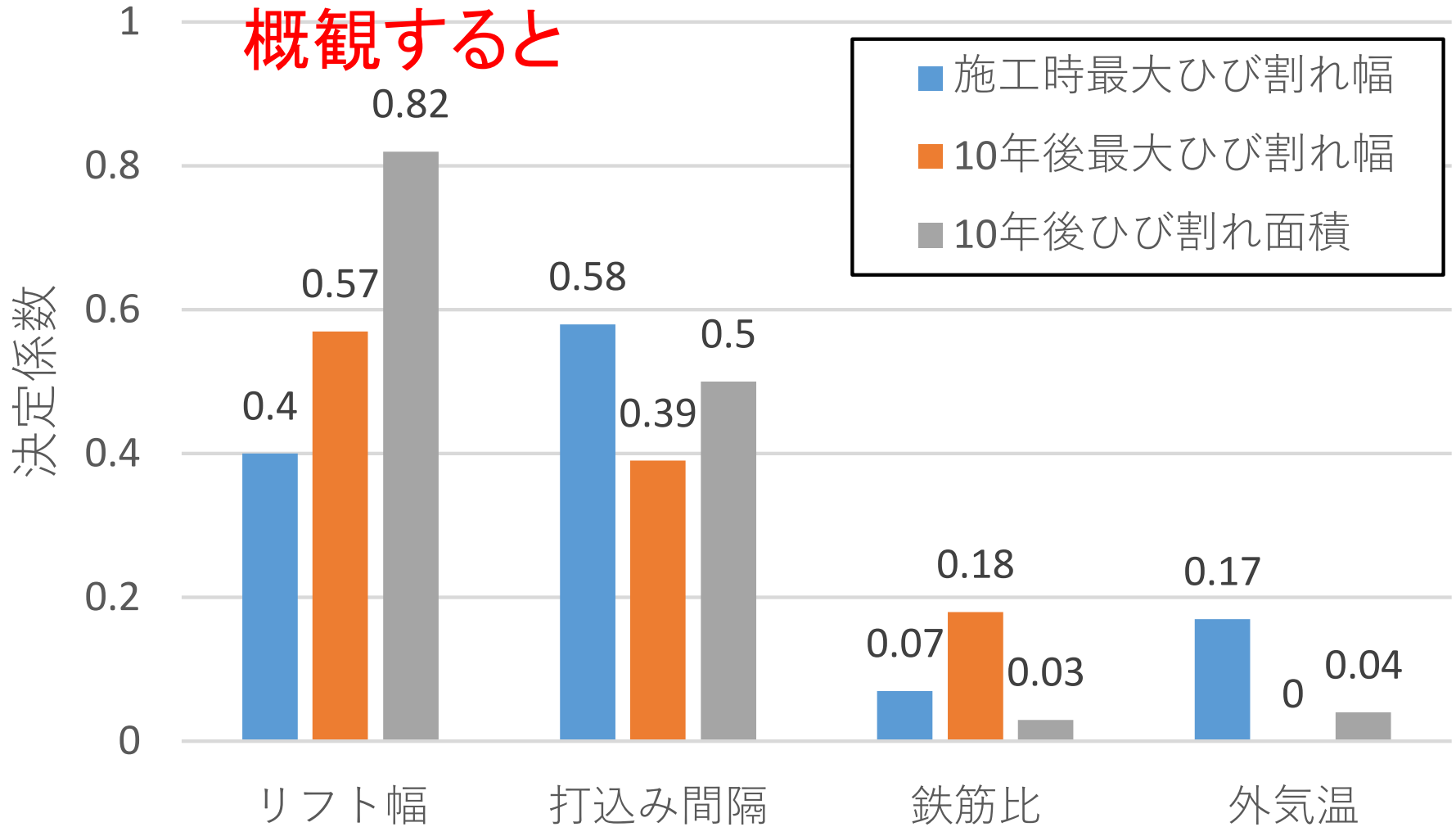
各要因の影響度を示す決定係数を算出

- 決定係数 R^2 データに対する推定された回帰式の度合いを表し
1に近いほど分析が有効であると示す

4. 重回帰分析

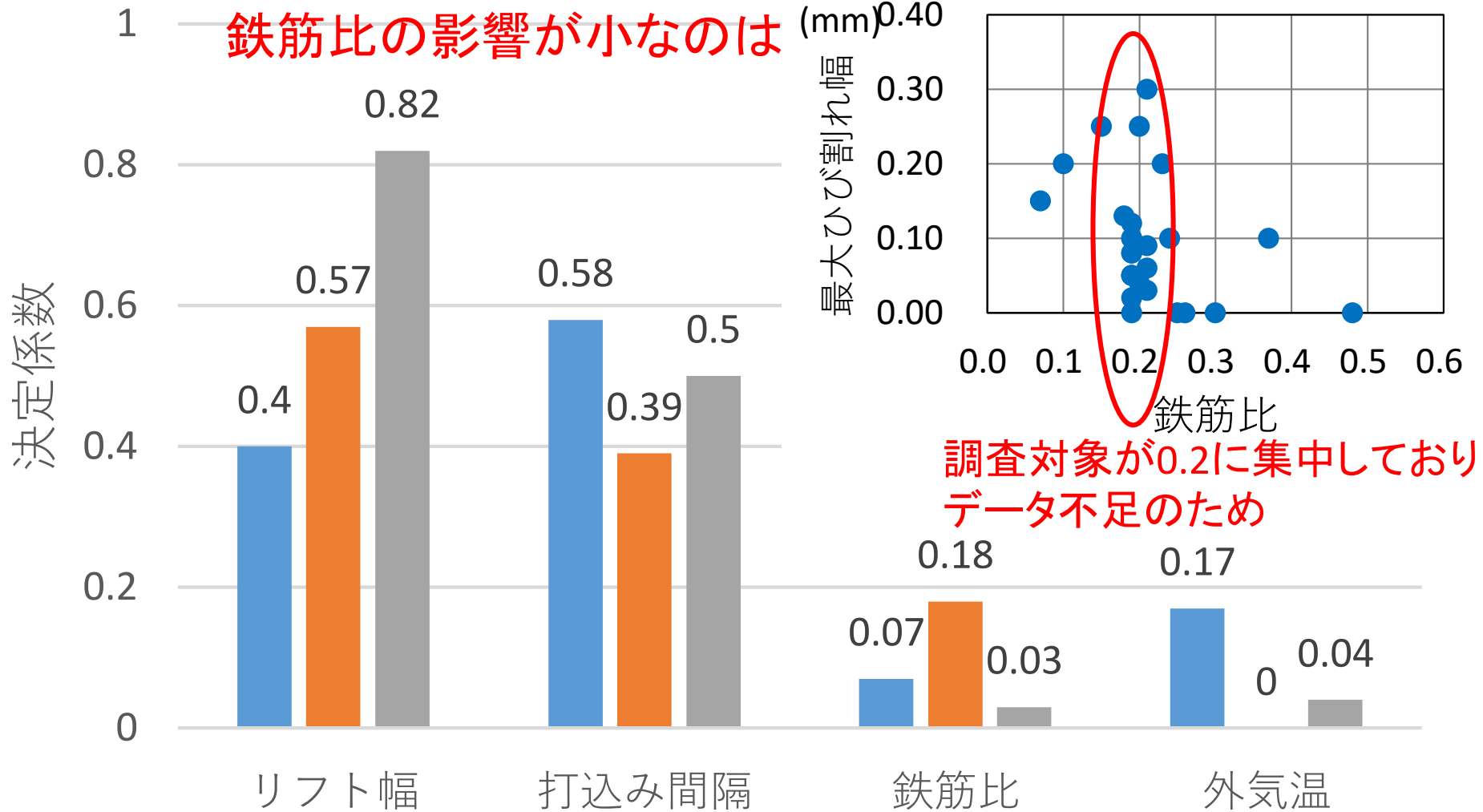


4. 重回帰分析



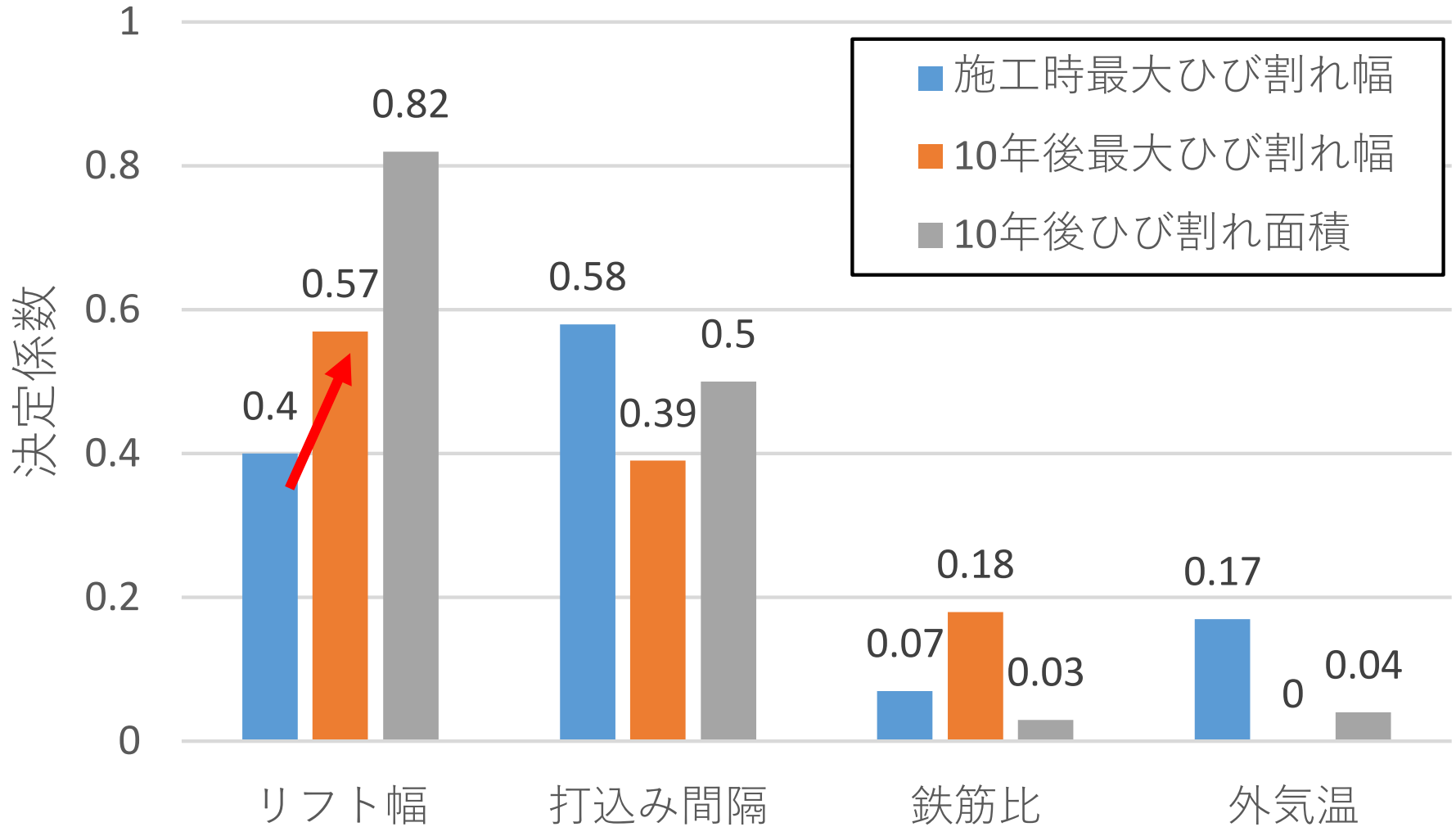
リフト幅や打込み間隔がひび割れ発生に影響

4. 重回帰分析



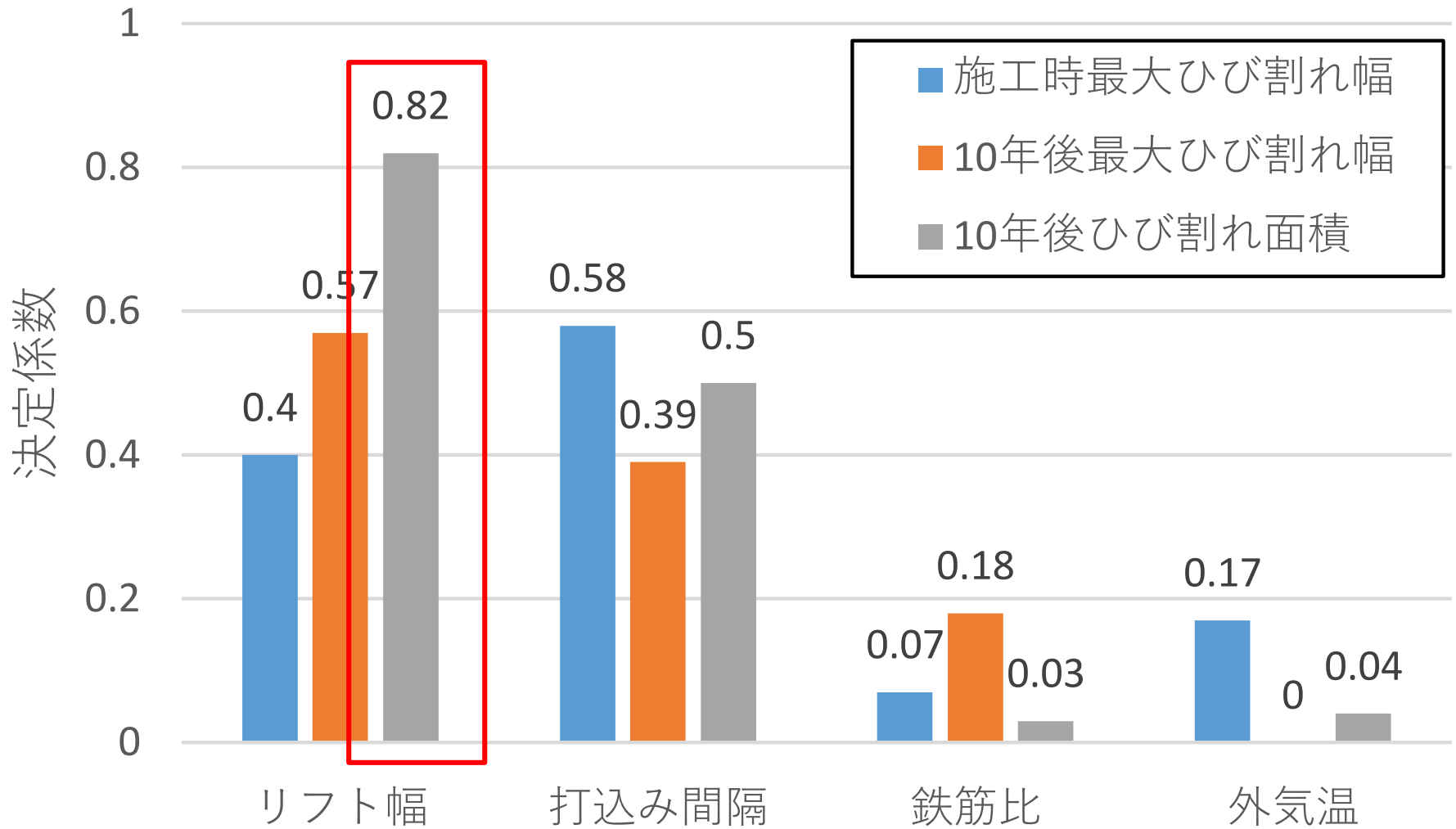
今後は鉄筋比が0.3の構造物調査も実施する

4. 重回帰分析



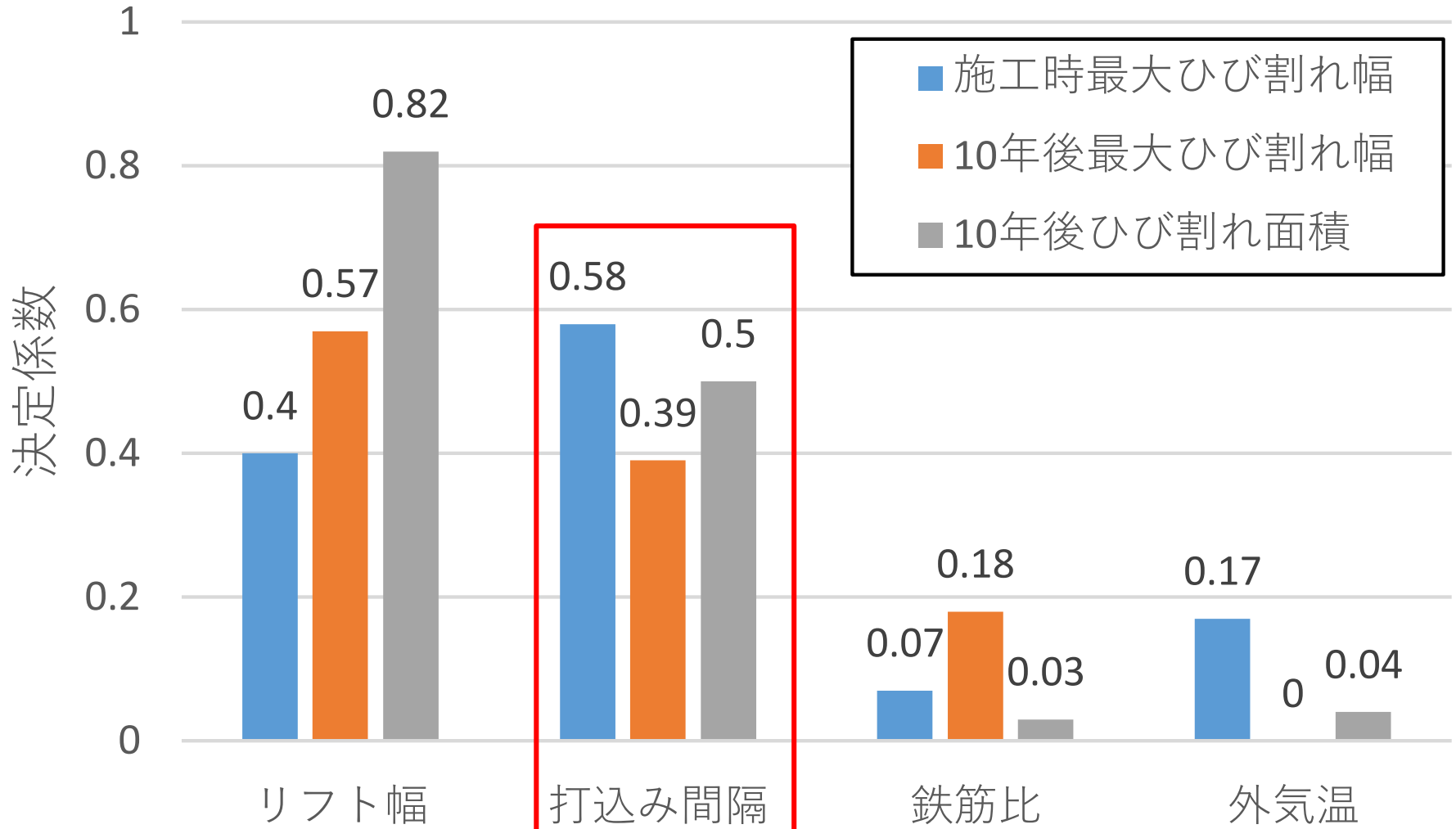
リフト幅は10年後ひび割れ幅への影響度が増大

4. 重回帰分析



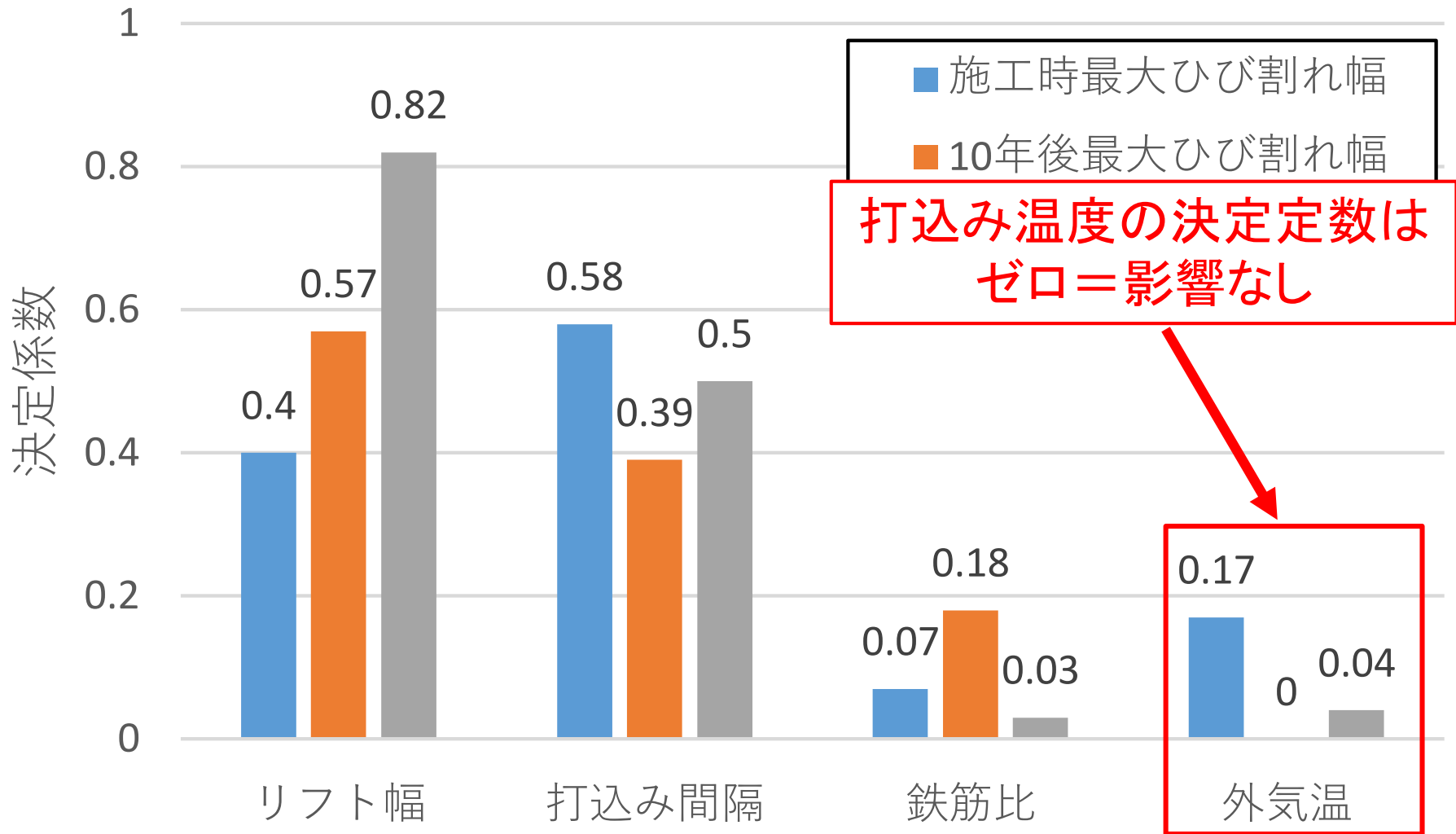
リフト幅は長期的な単位ひび割れ面積に非常に高い影響を与える

4. 重回帰分析



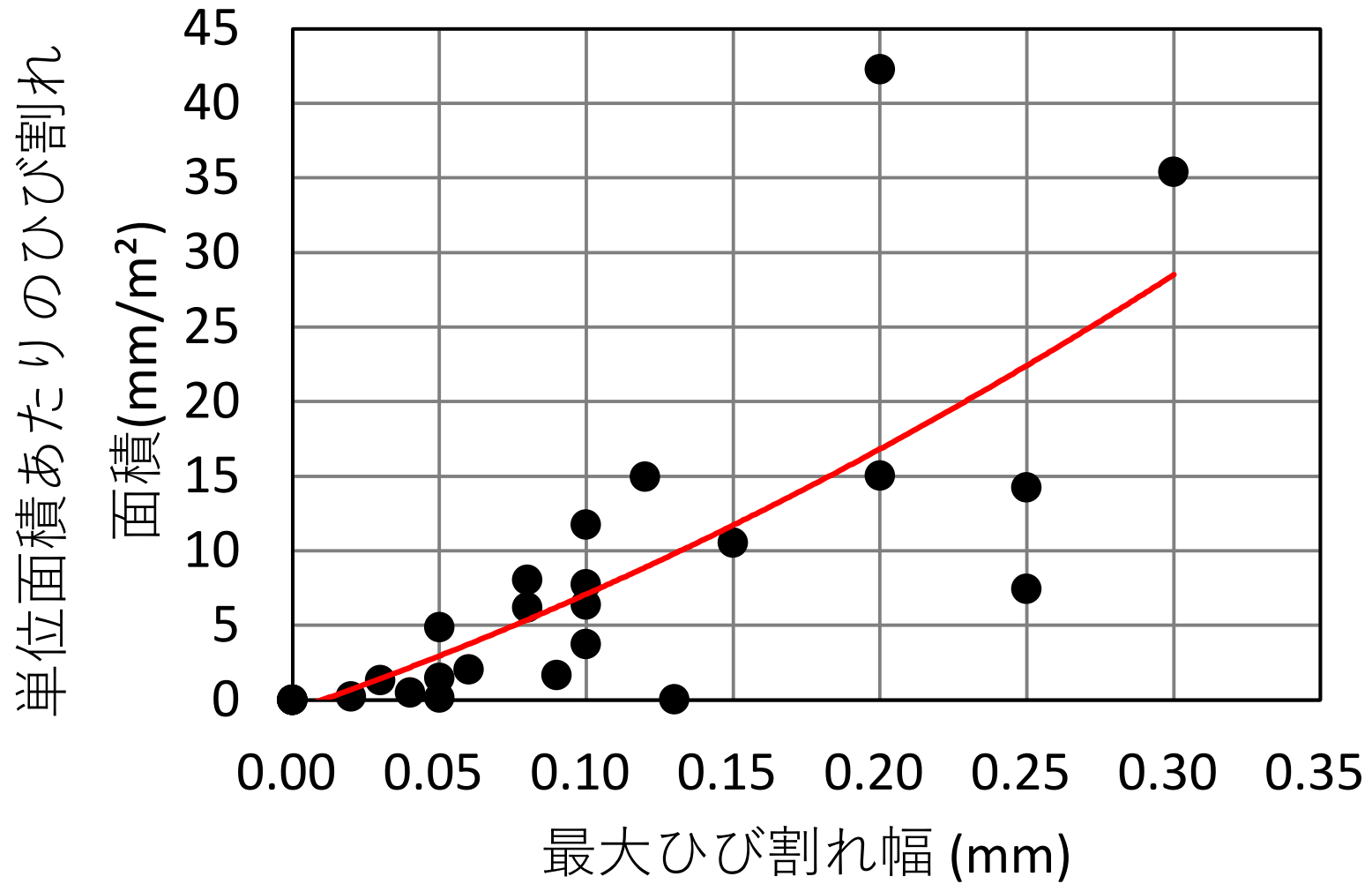
打込み間隔は短期長期のひび割れ発生に影響がある

4. 重回帰分析



外気温は短期的に影響があるものの、ひび割れ対策によって長期的なひび割れへの影響を抑制できている可能性

5. ひび割れ面積と最大ひび割れ幅



6. まとめと今後の課題

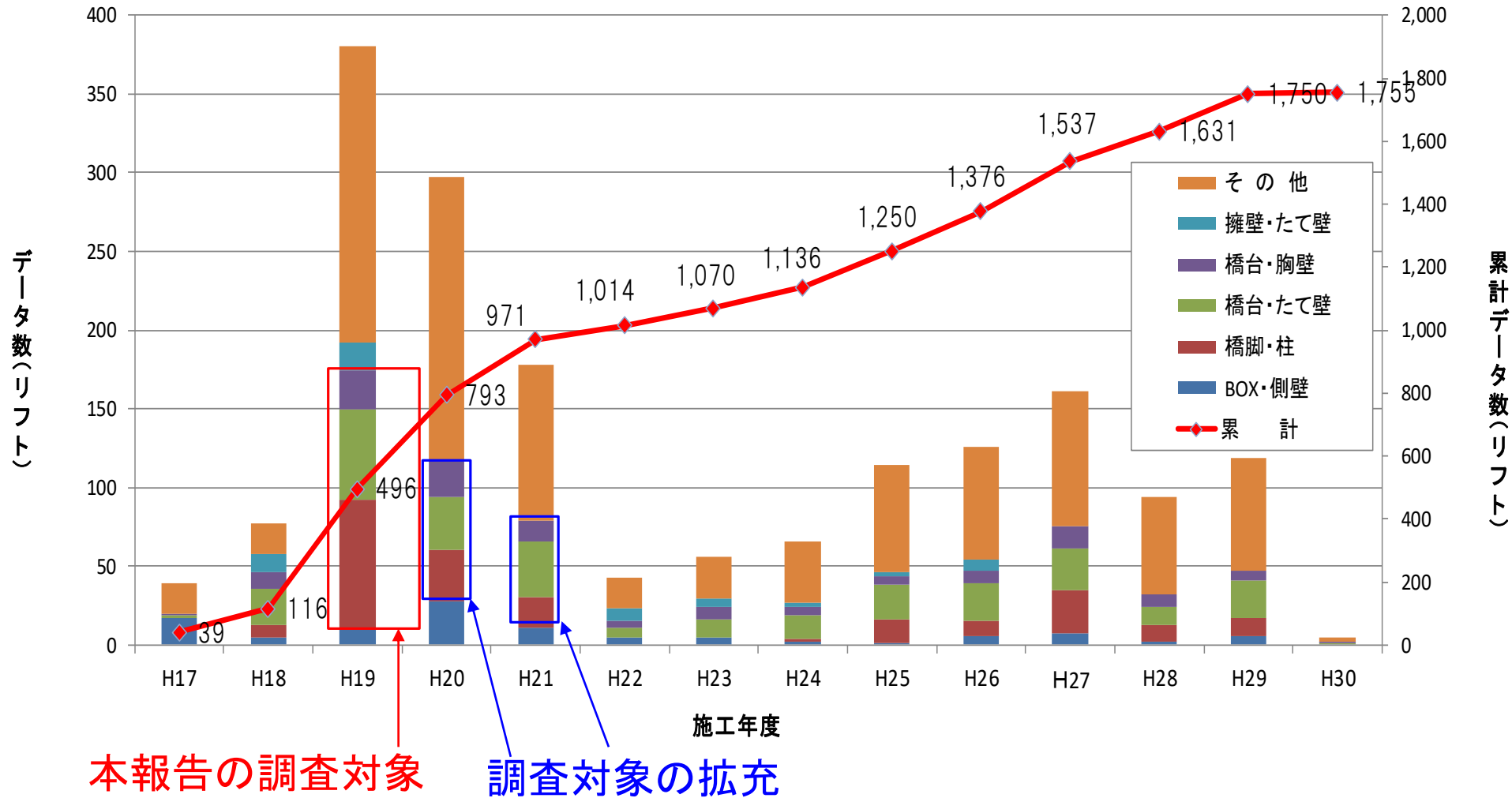
橋台・橋脚を対象に施工から10年後のひび割れ調査を実施

- ◆ リフト幅や先行リフトからの打込み間隔日数が10年後のひび割れ発生に大きく影響した
→リフト幅は長期的なひび割れ増大への影響が短期よりも大
- ◆ 鉄筋比は調査対象が0.2のケースに集中し、影響は未解明

今後の調査方針と課題

- 調査の継続と対象拡大
H20・21構造物, 鉄筋比0.3レベルの構造物

2. 対象構造物



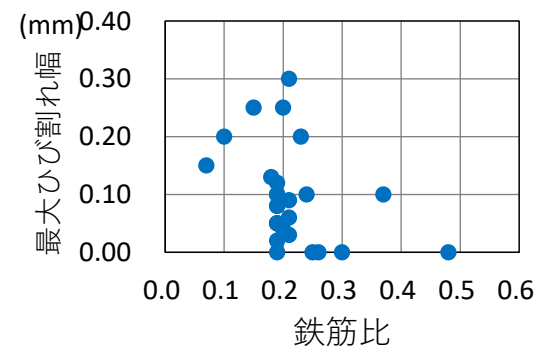
6. まとめと今後の課題

橋台・橋脚を対象に施工から10年後のひび割れ調査を実施

- ◆ リフト幅や先行リフトからの打込み間隔日数が10年後のひび割れ発生に大きく影響した
→リフト幅は長期的なひび割れ増大への影響が短期よりも大
- ◆ 鉄筋比は調査対象が0.2のケースに集中し、影響は未解明

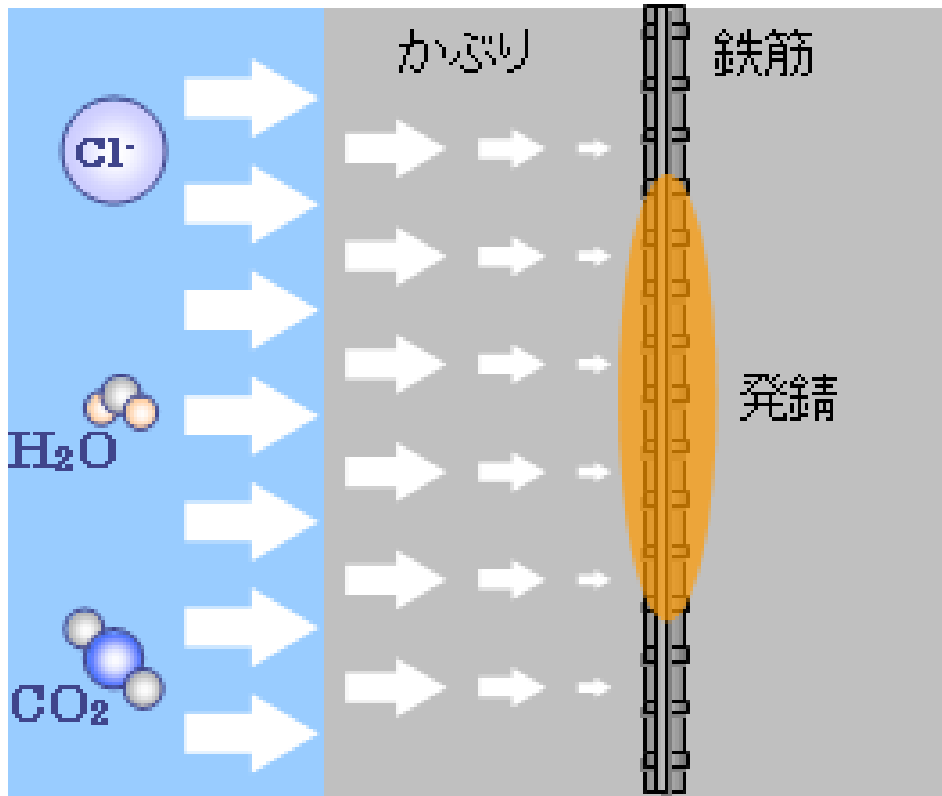
今後の調査方針と課題

- 調査の継続と対象拡大
H20・21構造物, 鉄筋比0.3レベルの構造物
- 橋脚と橋台に分離して影響因子を分析
- ひび割れと耐久性の関係



トンネル覆工コンクリートの目視評価

表層品質の重要性



密実な表層コンクリート



劣化因子の侵入を防止



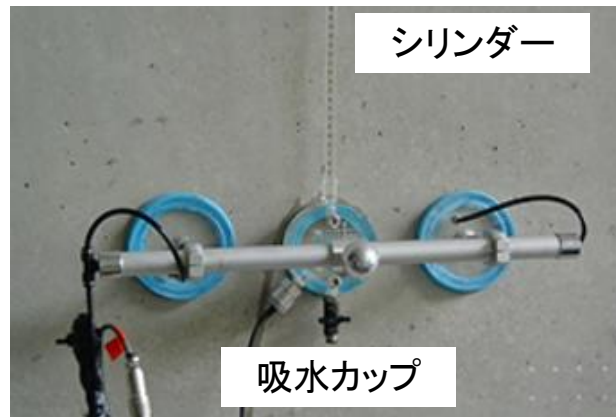
耐久性・長寿命化

表層品質の確保が重要

表層品質の評価

様々な非破壊・微破壊試験が開発されている

既存の品質評価法



表面吸水試験 (SWAT)

コンクリート表面から水を供給してその吸水量や吸水速度から表層品質を評価

→吸水量が小さいほど緻密



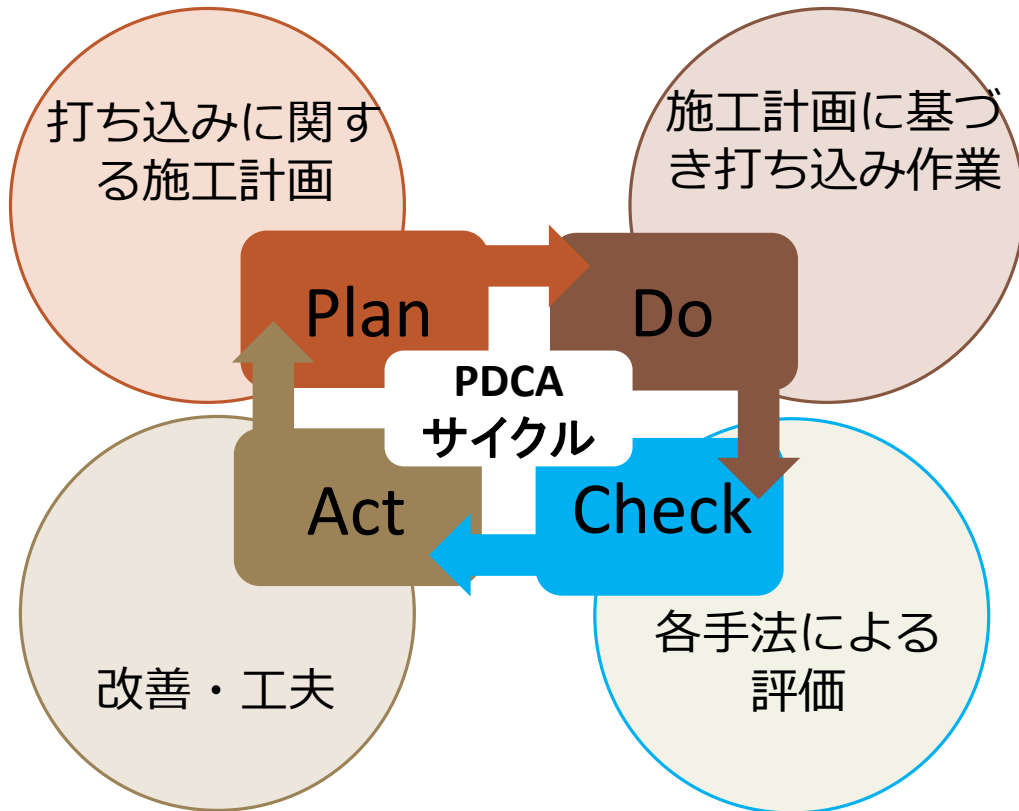
表層透気試験 (トレント法)

チャンバー(密閉空間)を作り、内部の空気を吸い上げた状態の圧力変化により評価

→圧力変化が小さいほど緻密

コンクリート構造物の品質確保

発注・設計・施工・製造の協働とPDCA



建設時のPDCAサイクル

施工状況把握チェックシート

【施工状況把握チェックシート(コンクリート打込み時)】

事務所名	〇〇土木建築事務所	工事名	県道〇〇線 道路改良工事	工区	1	
構造物名	〇〇橋 A1橋台	部位	たて壁	リフト	2	
受注者	〇〇建設(株)	確認者	〇〇技師			
配合	27-8-20BB	確認日時	2012/10/11(木) 7:30~13:30			
打込み開始時刻	予定 8:00 実績 8:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴	
打込み終了時刻	予定 12:00 実績 12:20	打込み量(m³)	80	リフト高(m)	3.0	
施工段階	チェック項目				記述	確認
準備	運搬装置・打込み設備は汚れていないか。				-	○
	型枠面は濡らせているか。				-	○
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。				-	※1
	かぶり内に結束線はないか。				-	○
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等を取り除き、ぬらしているか。				-	○
	コンクリート打込み作業人員(※)に余裕を持たせているか。				8人	○
	予備のバイブレータを準備しているか。				4台中1台	○
運搬	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。				-	○
	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。				50分	○

目視評価シート

201606版

評価基準	一般的に「良」とされる範囲				不適合
	4点	3点	2点	1点	
①花みひび割れ					-
	ベッコウ近傍にも花みひび割れがない	目視観察範囲のベッコウの幅の1/5以上に花みひび割れが発生	目視観察範囲のベッコウの幅の1/2以上に花みひび割れが発生	2点の状態よりも劣る	
②表面気泡					-
	5mm以下の気泡がほとんどない(目安: 縦断面以下/m²)	5mm以下の気泡が認められる(目安: 縦断面以上/m²)	10mm以下の気泡が認められる(目安: 縦断面以上/m²)	2点の状態よりも劣る	
③打まわし					-
	足場では打まわし線が認められるもの、約10m離れた遠方からは認められない	約10m離れた遠方から、打まわし線が認められる	約10m離れた遠方から、打まわし線がはっきりと認められる	2点の状態よりも劣る	構造物のオーナーから不具合と判定される状況

目視評価手法

一般構造物

橋台・橋脚・函渠などの
一般的な構造物をリフト
毎面的に簡易迅速評価

- ①沈みひび割れ
- ②表面気泡
- ③打重ね線
- ④型枠継ぎ目のノロ漏れ
- ⑤砂すじ

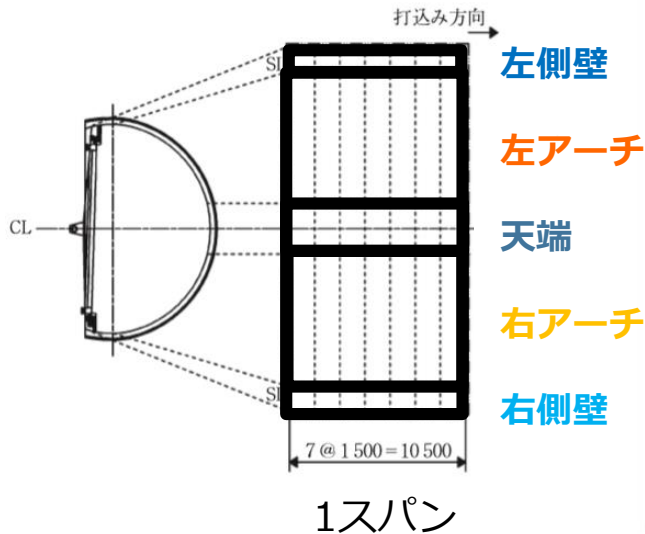
目視評価シート

201608版

評価基準 評価項目	一般的に中止される範囲				不適合
	4点	3点	2点	1点	
①沈みひび割れ	 ・ビーコン近傍にも沈みひび割れがない	 ・目視調査範囲のビーコンの概ね1/5以上に沈みひび割れが発生 ・ビーコン直径の3倍以上の長さの沈みひび割れが発生	 ・目視調査範囲のビーコンの概ね1/2以上に沈みひび割れが発生	 ・2点の状況よりも劣る	構造物のオーナーから不具合と判定される状況で補修を要するもの
②表面気泡	 ・5mm以下の気泡がほとんどない (目安: 概ね50個以下/m ²)	 ・5mm以下の気泡が認められる (目安: 概ね50個以上/m ²)	 ・10mm以下の気泡が認められる (目安: 概ね50個以上/m ²)	 ・2点の状況よりも劣る	
③打重ね線	 ・近接では打重ね線が認められるものの、約10m離れた遠方からは認められない	 ・約10m離れた遠方から、打重ね線が認められる	 ・約10m離れた遠方から、打重ね線がはっきりと認められる	 ・2点の状況よりも劣る	
④型枠継ぎ目のノロ漏れ	 ・調査対象範囲にノロ漏れがほとんど認められない	 ・調査対象範囲の概ね1/10以上にノロ漏れが認められる	 ・調査対象範囲の概ね1/3以上にノロ漏れが認められる	 ・2点の状況よりも劣る	
⑤砂すじ	 ・調査対象範囲に砂すじがほとんど認められない	 ・調査対象範囲の概ね1/10以上に砂すじが認められる	 ・調査対象範囲の概ね1/3以上に砂すじが認められる	 ・2点の状況よりも劣る	

トンネル覆工コンクリートの表層目視評価

- 4段階評価
(0.5点刻み)
- 6項目

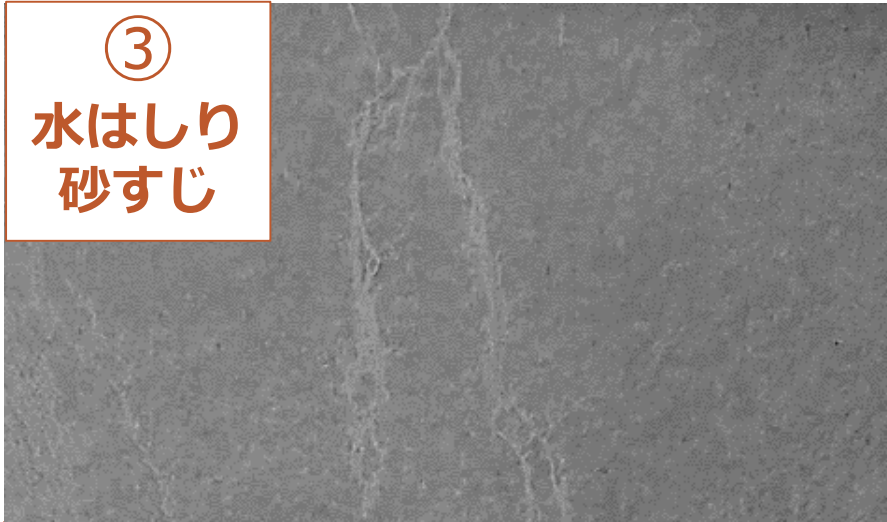


評価項目	不具合の写真	評価基準			
		4点	3点	2点	1点
① 剥離		無し	50 cm 四方程度の大きさで見られる	1 m ² 程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる
② 気泡 (1.5m×1.0m範囲)		5 mm 以下の気泡もほぼ無し	5 mm 程度の気泡が10箇所程度見られる	10 mm 以上が10箇所程度または5 mm 以下が20箇所程度見られる	10 mm 以上が20箇所程度見られる
③ 水はしり砂すじ		無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	やや多く見られる(全体の1/3程度)	2点の状態以上に広範囲に見られる
④ 色むら打重ね線		ほぼ無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	全体の半分程度にみられる	2点の状態以上に広範囲に見られる
⑤ 施工目地不良		無し	一部に見られる(1/10程度)	多く見られる(1/3程度)	側壁全てに見られる(天端に見られたら1)
⑥ 検査窓枠		無し	1箇所程度見られる	2～3箇所見られる	3箇所を越える個所に発生

トンネル目視評価手法

③

水はしり
砂すじ



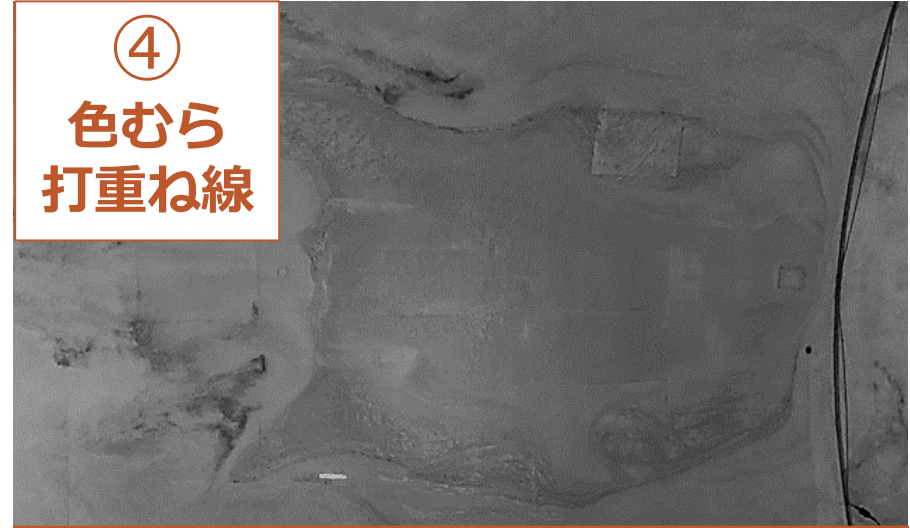
4点	3点	2点	1点
無し	1部に見られる (1/10程度)	やや多く見られる (1/3程度)	2点より広範囲

せき板に接するコンクリート表面に細骨材が縞状に残る

- ▶ ブリーディングの排出不足
- ▶ 型枠の加工精度
- ▶ 急速な打ち込み

④

色むら
打重ね線



4点	3点	2点	1点
無し	1部に見られる(1/10程度)	半分以上見られる	2点より広範囲

コンクリートを層に分けて打ち込んだ際に線状の筋が発生

- ▶ 打重ね時間の短縮
- ▶ 十分な締固め
- ▶ 打込み時間

トンネル目視評価手法

トンネル覆工コンクリートの施工



側壁部から
打ち込む

締固めを行うと、つま板
側にコンクリートが流動
してくる
締固め困難な 場所が発生

天端部のつま板を極力
遅く閉塞するが、締固
め困難な場所が発生

トンネル目視評価 対象構造物

対象：岩国市の森ヶ原**第1トンネル**,**第2トンネル**

細田教授

二宮客員教授・温品

土木建築事務所-5名

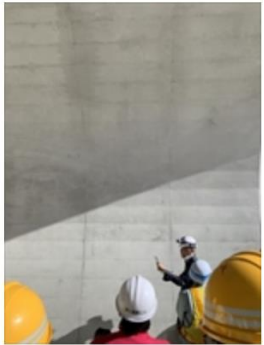
技術管理課-1名

熊谷組-3名

徳山高専生-7名

計19名

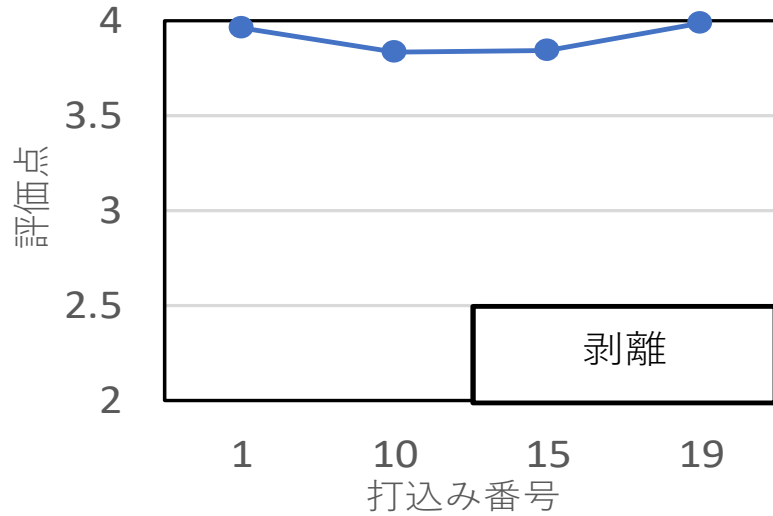
目視評価による
PDCA実施



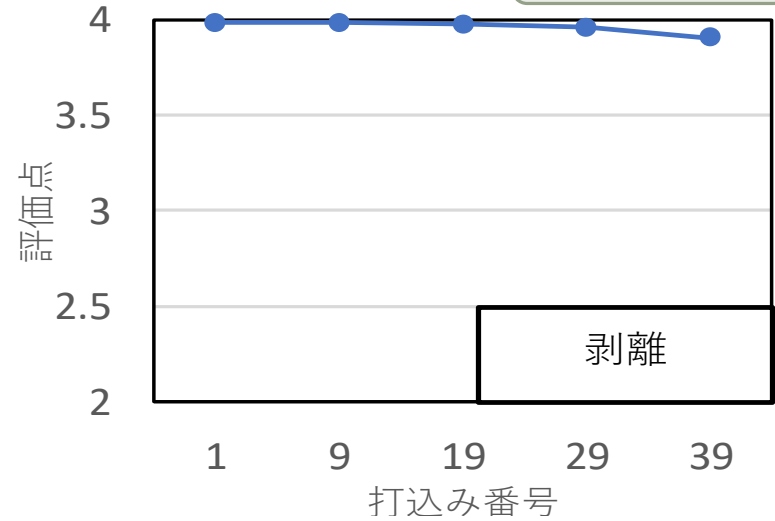
結論： 両トンネル共に
高い評価結果となった

目視評価結果 剥離 表面気泡

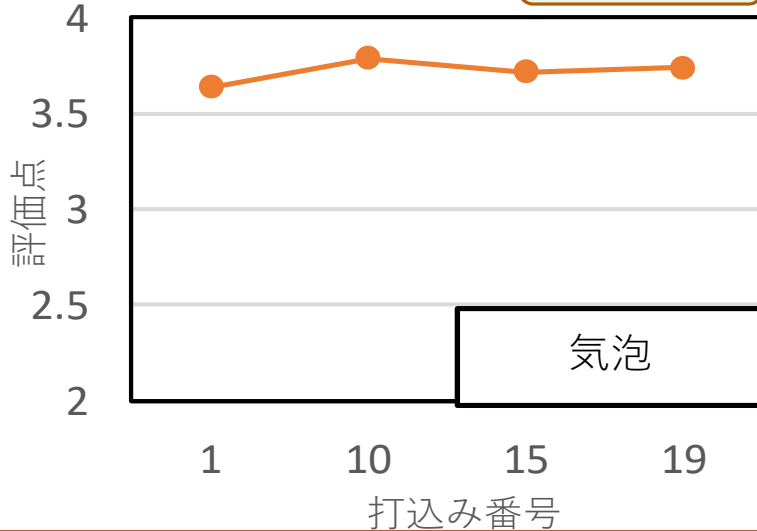
第1トンネル PDCA実施



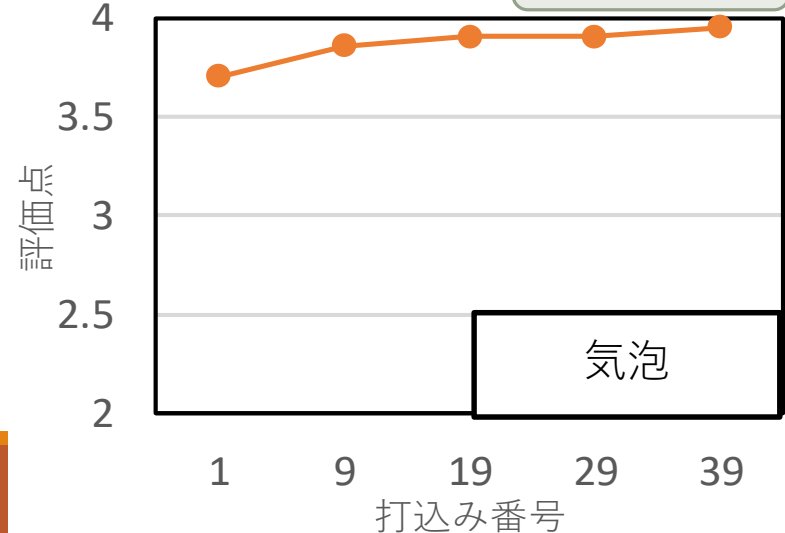
第2トンネル 通常の施工



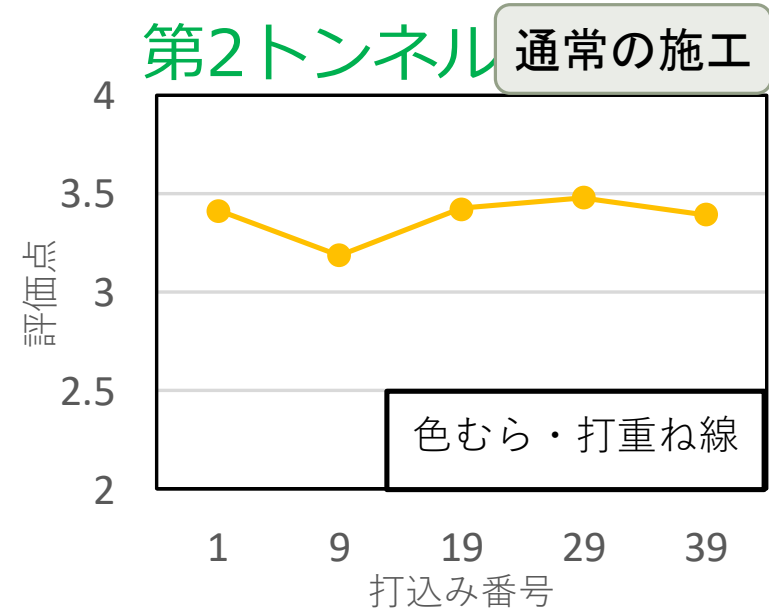
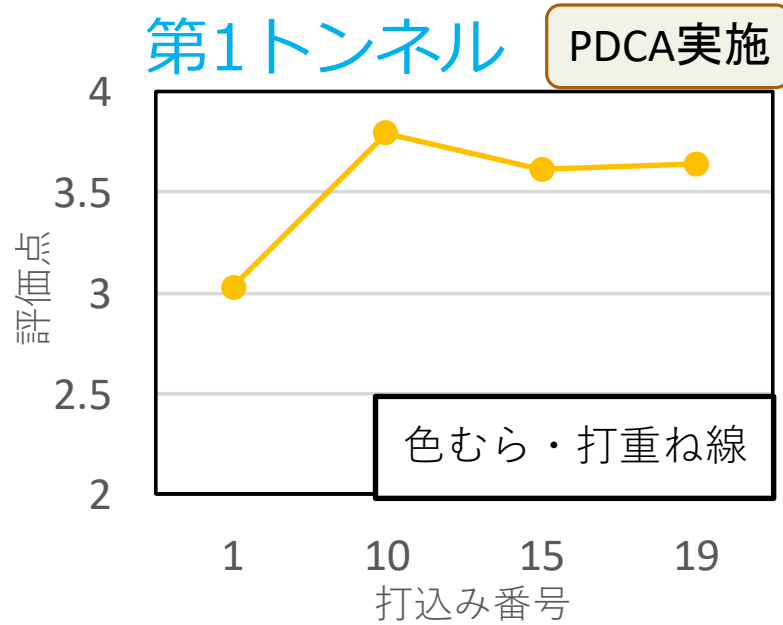
第1トンネル PDCA実施



第2トンネル 通常の施工



目視評価結果 色むら 打重ね線

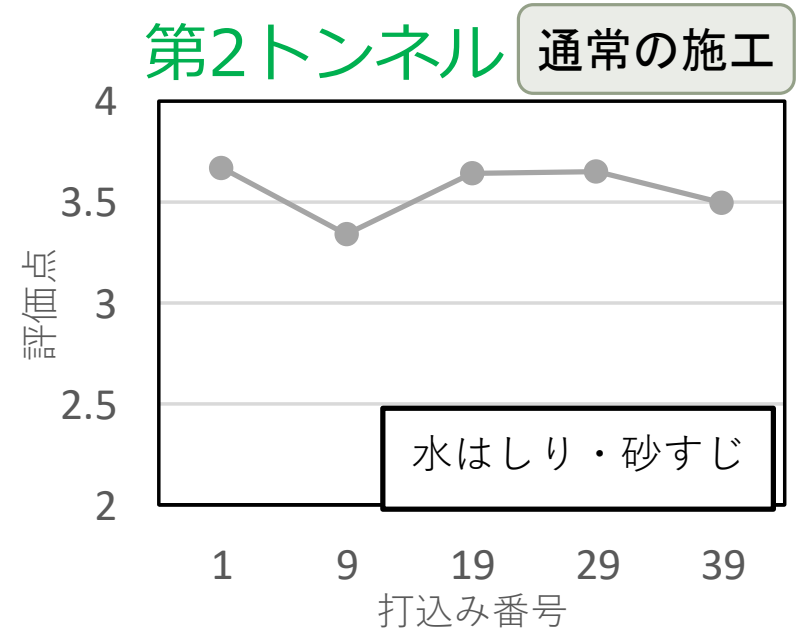
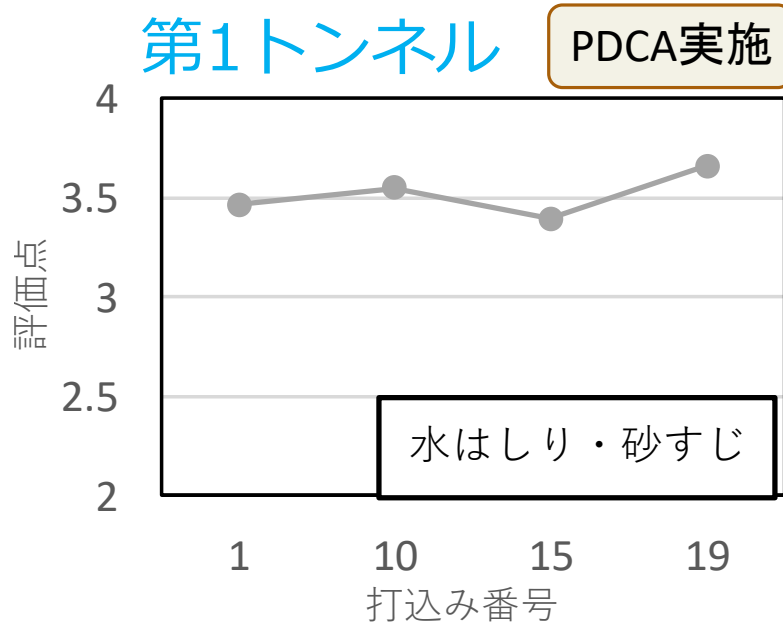


初期に対して大きく点数が**上昇**

▶ スランプ値の修正

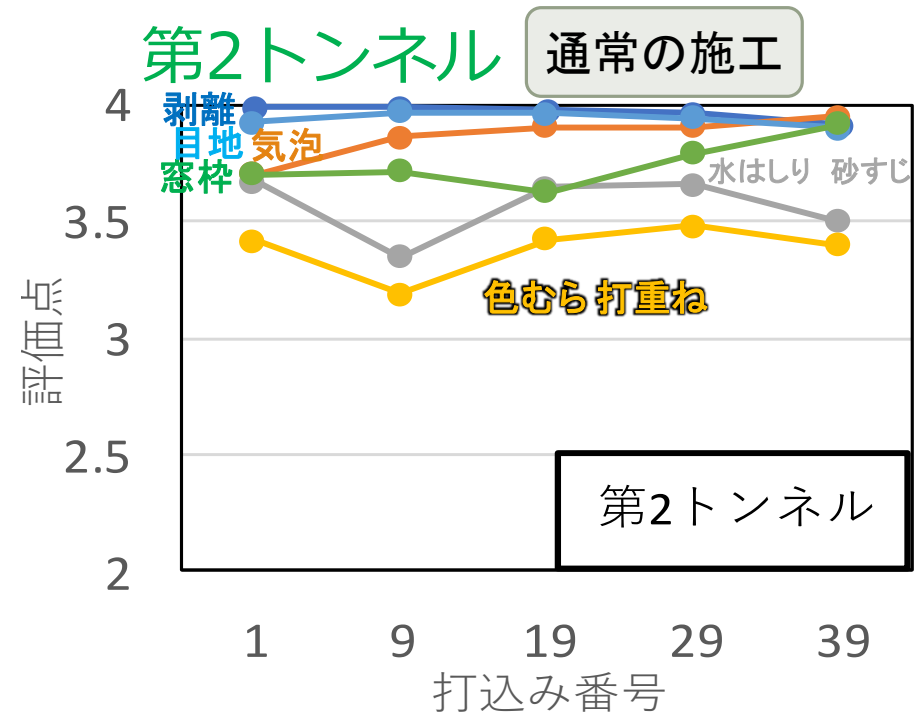
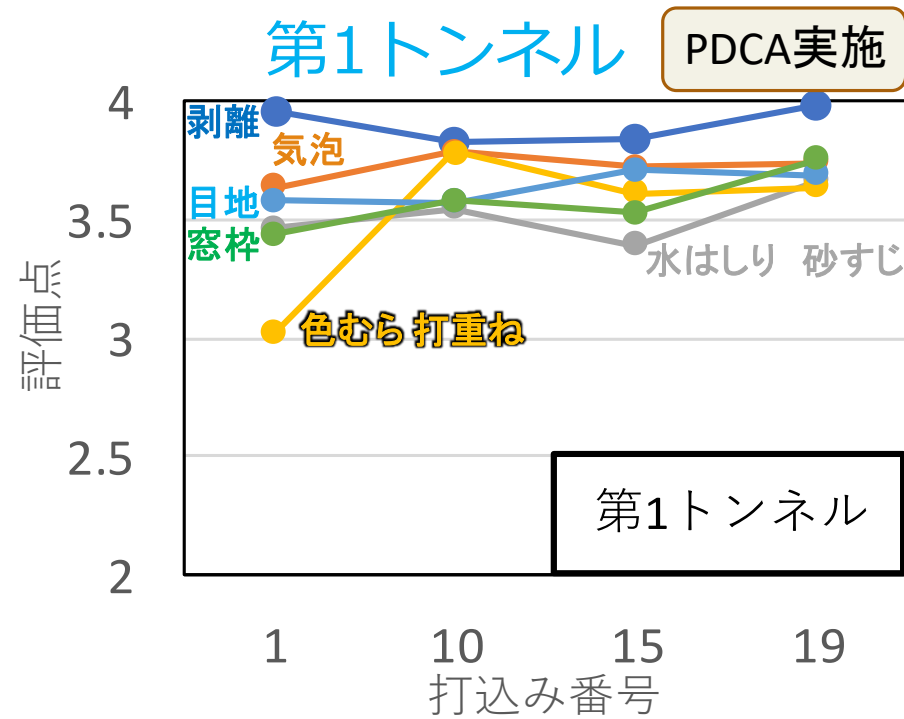
十分な締固め・横流し防止

目視評価結果 水はしり 砂すじ



- ・ 施工と共に点数が**上昇傾向**
 →ブリーディング水の
 十分な排出・型枠精度

目視評価結果 まとめ



- 両トンネル共に高い目視評価結果となった
- 目視評価を考慮し施工を改善することで品質が向上したと言える