

床版補強工鋼板接着におけるエポキシ樹脂の気温・湿度による硬化時間の検証

会社名： 静和工業株式会社
石川雅英

工事名 平成21年度 駿河大橋橋梁補修工事

工事概要 施工延長 L = 317 m
橋梁床版工
鋼板製作工 : 91.4 t
鋼板接着工 : 2,119 m²
炭素繊維補強工 : 125 m²
足場工(吊足場) : 3,300 m²
橋梁補修工
断面補修工 : 21 m²
ひびわれ注入工 : 3 m
既設鋼板撤去工 : 33 m²

施工条件

施工場所 : 静岡市葵区南安倍～静岡市駿河区向敷地
国道1号線安倍川に架かる駿河大橋
P6 ～ A2 間

工 期 : 平成21年9月17日 ～ 平成22年6月18日

施工可能時期 : 渇水期 (11月1日 ～ 5月30日)

工事の目的

経年劣化始めている駿河大橋の床版を鋼板接着工(鋼板取付～エポキシ樹脂注入～鋼板塗装工)を行うことにより、耐久性の向上を図る。

主要工種は、クラック及びはく落箇所調査・補修(クラック注入工、断面補修工)、補修終了後の鋼板接着工(樹脂注入～防食塗装)及び凹凸の大きい箇所には、炭素繊維補強工となっている。

今回の着目点

今回の施工で着目した点は、温暖な静岡県でも一番冷え込む2月、気温の差が多い3～4月、そして渇水期の中でも雨量の多い3～4月の厳しい条件下で、鋼板接着工の中でも重要視しなければならないエポキシ樹脂注入工において、外的要因(気温・湿度)の影響で樹脂の硬化時間に差が生じ、次工程への影響が懸念されたため検証し製品特性を把握することで、次期同工種に生かしていけたらと考えた。

次工程が鋼板ケレン作業(ベビーサンダーによる鋼板表面のケレン)となり、硬化前であると振動により注入箇所に隙間等が発生する恐れが出るため、完全硬化時間の予測・決定が今回の着目すべきポイントとなる。

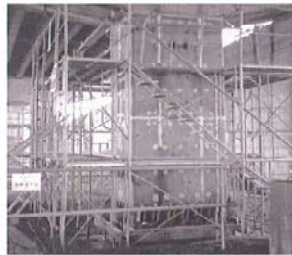
検証実施項目

- ① 気温・湿度の測定（使用開始日・使用開始時間、使用終了時間に測定）
 - ・ エポキシ樹脂使用開始日より使用終了日までの日々の最高気温、最低気温を施工場所で測定し記録する。（休工日は近隣地点の気象台発表値とする。）
- ② 使用日毎厚さ3cm（設計注入厚さ5mm）程度のエポキシ樹脂の試験片を採取する。
この時養生は現地にての現場養生とする。
- ③ 硬度計の使用（デュロメーター）
従来の注入樹脂の硬化確認はテストピースを採取し、目視もしくは触指のみであった。これを数値化するためにゴム圧測定等に使用するデュロメーターを使用することとした。
- ③ 硬化時間の算出
試験片採取日より材令7日になるまで硬度測定（同時刻をねらい）を行い。
使用材料メーカーの示す硬度（HDD80）を硬化完了とし、そこまで達する時間及び温度・湿度をグラフ化し硬化完了時間を算出した。
それに伴い、硬化完了後も7日間の測定を行うことで、その後の変化も確認することができた。



PRODUCT GUIDE & TECHNICAL DATA

土木建築用低粘度型エポキシ樹脂(湿潤面施工可能型)



ボンドE2300J

ボンド E2300Jは、湿潤面や水中下においても施工が可能な、土木建築用の低粘度型高強度エポキシ樹脂です。コンクリート、モルタル、金属などへの接着性に優れており、アンカーや差筋の定着用樹脂として最適です。また、床版や桁の鋼板補強、橋脚や柱の鋼板巻立補強および増桁補強用のグラウト材としてもご使用いただけます。

- 用 途
- アンカー、差筋の接着充てん材
 - 鋼板補強、鋼板巻立補強用、増桁補強用の注入材
 - コンクリート構造物のひび割れ注入補強材

- 特 長
- 高 強 度：機械的強度および接着強さに優れます。
 - 低 収 縮：溶剤などの揮発物を含まず、ほとんど収縮がありません。
 - 耐 久 性：硬化後の耐水性・耐久性に優れます。
 - 低 粘 度：低粘度のため施工性に優れます。

品 名	ボンド E2300JS		ボンド E2300JW	
	主 剤	硬 化 剤	主 剤	硬 化 剤
主 成 分	エポキシ樹脂	変性脂環式ポリアミン ポリチオール	エポキシ樹脂	変性脂環式ポリアミン ポリチオール
外 観	淡黄色透明液	褐色透明液	淡黄色透明液	褐色透明液
混 合 粘 度	2000±1000mPa・s [20℃]			
混 合 比	主剤：硬化剤＝2：1（質量比）			

- 使用方法
- ボンド E2300Jの主剤と硬化剤を2：1（質量比）の混合比で計量し、充分に混合攪拌してご使用ください。
 - 一度に混合する量は、可使時間以内に使いきれの量にしてください。
 - 器具類に付着した樹脂は、硬化する前に有機溶剤でふき取ってください。
 - 施工後24時間以上の養生が必要です。養生にあたっては、過度の振動、衝撃などを与えないように注意してください。
 - 低温時は硬化が著しく遅くなります。原則として5℃以上の環境で使用してください。

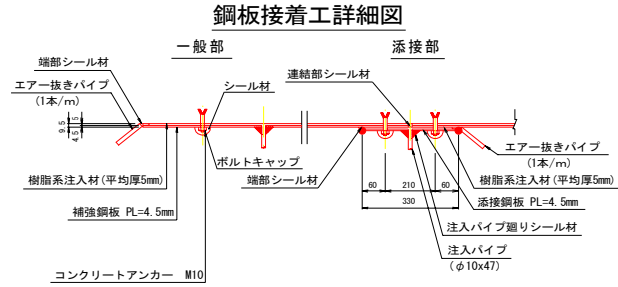
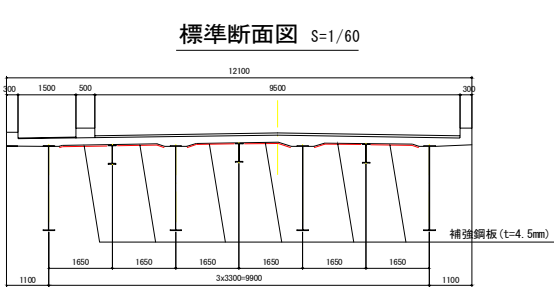
■技術データ

■硬化樹脂の性能規格(社内規格値)

試 験 項 目	社内規格値	試験条件	試験方法
比 重	1.20±0.10	20℃で7日間養生	JIS K 7112-1999
可 使 時 間 (分)	30以上	温度上昇法	
粘 度 (mPa・s)	2000±1000	20℃	JIS K 6833-1-2008
圧 縮 降 伏 強 さ (N/mm ²)	70以上	20℃で7日間養生	JIS K 7208-1995 JIS K 7181-1994
圧 縮 弾 性 率 (N/mm ²)	1.5×10 ³ 以上	20℃で7日間養生	JIS K 7208-1995 JIS K 7181-1994
曲 げ 強 さ (N/mm ²)	50以上	20℃で7日間養生	JIS K 7203-1995 JIS K 7171-2008
引 張 強 さ (N/mm ²)	35以上	20℃で7日間養生	JIS K 7113-1995 JIS K 7161-1994
衝 撃 強 さ (kJ/m ²)	3.0以上	20℃で7日間養生	JIS K 7111-1-2006
引張せん断接着強さ (N/mm ²)	10以上	20℃で7日間養生	JIS K 6850-1999
硬 度 (HDD)	80以上	20℃で7日間養生	JIS K 7215-1986

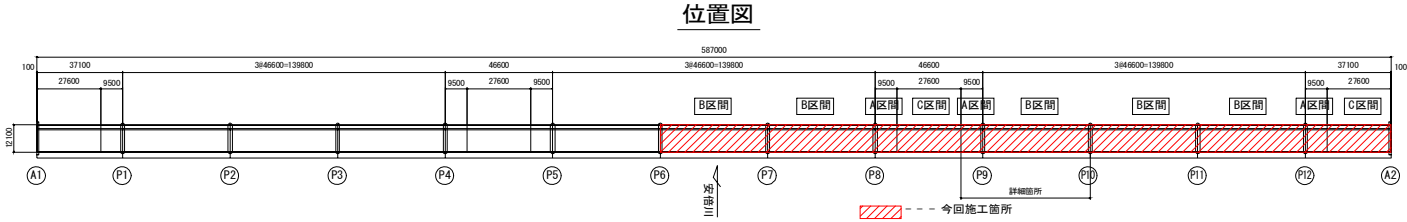
施工図

駿河大橋 床版補強図(その2)



鋼板接着工 数量表

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
鋼板	SS400	m ²	10	
シール材	エポキシ樹脂	kg	8.9	ポルトキャップ内含む
注入材	エポキシ樹脂	kg	73.3	
ポルトキャップ	M10用	個	93	



- 注記)
1. 施工にあたっては、現地計測を行い、再確認すること。
 2. 鋼板加工にあたっては、原寸取りを行い、床版水抜管の施工位置に合わせ床版水抜管用孔(φ90)を削孔すること。
 3. 床版水抜管用孔の位置は添接部を避けること。
 4. 足場架設後、既設鋼板接着部を調査し、損傷度合いによつては、再補強を行うこと。
 5. アンカーを施工するにあたっては、既設鉄筋を避けた位置とすること。

① 気温・湿度の測定

使用日・使用場所での気温・湿度測定



※ 使用箇所での温度・湿度測定状況

① 気温・湿度及び樹脂注入記録表

22年 2月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
温度測定値	最高																							17.3	17.7	16.9	18.3	20.8	13.4			
	最低																							4.6	5.6	7.2	13.0	11.2	8.3			
	平均																							11.0	11.7	12.1	15.7	16.0	10.9			
湿度測定値	最高																															
	最低																															
	平均																							71.0	73.0	76.0	91.0	86.0	84.0			
樹脂注入記録	1																							注	11.3 72	11.6 73	12.6 78	13.3 79	12.9 80			
	2																								注	11.9 75	13.1 80	13.8 82	13.2 82			
	3																									注	13.9 84	14.6 84	13.6 84			
	4																										注	15.8 89	14.2 87			
	5																															
	6																															
	7																															
	8																															
	9																															
22年 3月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
温度測定値	最高	18.2	16.5	13.7	13.0	19.0	19.0	9.8	16.0	10.0	10.0	12.0	14.0	17.0	16.4	16.0	19.0	21.0	16.0	15.0	15.0	19.8	19.0	14.0	15.0	12.0	9.0	14.0	12.9	12.0	11.0	12.0
	最低	8.0	6.6	7.2	11.0	16.0	16.0	6.1	7.0	7.0	7.0	6.0	7.0	8.0	8.9	8.0	11.0	8.0	6.0	8.0	7.0	8.2	7.0	10.0	12.0	8.0	8.0	5.7	7.0	4.0	4.0	
	平均	13.1	11.6	10.5	12.0	17.5	17.5	8.0	11.5	8.5	8.5	9.0	10.5	12.5	12.7	12.0	15.0	14.5	11.0	11.5	11.0	14.0	13.0	12.0	13.5	10.0	8.5	11.0	9.3	9.5	7.5	8.0
湿度測定値	最高				92.0	92.0	83.0		70.0	96.0	96.0	67.0	70.0	71.0		73.0	84.0	84.0	70.0	73.0	73.0		48.0	58.0	81.0	84.0	84.0	71.0		73.0	73.0	53.0
	最低				49.0	83.0	70.0		62.0	62.0	40.0	40.0	67.0	70.0		67.0	67.0	49.0	49.0	70.0	67.0		46.0	48.0	58.0	81.0	71.0	61.0		73.0	52.0	52.0
	平均	81.0	91.0	78.0	70.5	87.5	76.5	70.0	66.0	79.0	68.0	54.0	69.0	71.0	49.0	45.0	51.0	51.0	60.0	72.0	70.0	46.0	47.0	53.0	69.5	82.5	77.5	66.0	73.0	73.0	62.5	52.5
樹脂注入記録	1	12.9 80	12.7 82	12.5 81	12.4 80	12.9 81																										
	2	13.2 82	13.0 83	12.7 83	12.6 81	13.1 82	13.5 81																									
	3	13.5 84	13.2 85	12.8 84	12.7 82	13.2 83	13.7 82	13.1 81																								
	4	13.9 86	13.4 87	12.9 85	12.8 83	13.4 84	13.8 83	13.3 82	13.1 79																							
	5				注	14.8 79	15.7 78	13.7 76	13.3 74	12.5 75	11.9 74	11.6 71	11.4 71	11.5 71	11.6 69																	
	6					注	17.5 82	14.3 78	13.6 78	12.6 75	11.9 76	11.5 72	11.4 71	11.5 71	11.6 69	11.6 67																
	7						注	12.7 73	12.3 71	11.4 73	10.8 72	10.5 69	10.5 69	10.7 69	11.0 67	11.1 65	11.4 64															
	8											注	9.8 67	10.7 68	11.2 65	11.3 66	11.9 67	12.3 67	12.1 66													
	9																				注	12.5 58	12.7 54	12.5 54	12.7 57	12.3 61	11.7 64	11.6 64				
	10																							注	12.5 50	12.8 56.5	12.1 63	11.4 65.9	11.3 65.9	11.3 66.9	11.0 67.7	

※ 温度、湿度の最高値・最低値を記録することで、日々の養生の平均値を算定する。

② 硬度計(デュロメーター)による硬度測定
 注入回毎(7日間継続測定)



硬度計により
直ちに数値化できる。

従来の硬化確認

目視確認



触指確認(硬化が曖昧)



数値化出来ず
曖昧である。

最遅硬化時間

樹脂注入硬化時間管理表

No.	注入箇所	注入日	熟成日	熟成日硬度 (D)	材令 (日)	推定硬化時間 (時間)	平均養生気温 (℃)	平均養生湿度 (%)	備 考
8	P7-P8,C5-C9,B3	H22.3.11			0		9.0	53.5	
				43	1		9.8	67.0	
				73	2		10.7	68.0	
			H22.3.14	80	3	72h	11.2	65.0	熟成日
				82	4		11.3	66.0	
				80	5		11.9	67.0	
				83	6		12.3	67.0	
				82	7		12.1	66.0	

最速硬化時間

樹脂注入硬化時間管理表

No.	注入箇所	注入日	熟成日	熟成日硬度 (D)	材令 (日)	推定硬化時間 (時間)	平均養生気温 (℃)	平均養生湿度 (%)	備 考
27	P12-A2,C1-C5,C2	H22.4.23			0		13.5	78.5	
				84	1	23h	14.0	79.0	
				85	2		10.9	74.7	
			H22.4.24	85	3		10.2	72.0	
				83	4		10.6	70.9	
				84	5		11.0	72.9	
				83	6		11.4	74.9	
				84	7		11.6	73.3	

※ 熟成日 : 平均硬度が80Dを越えた日又、その時の値(熟成日硬度)

※ 推定硬化時間 : 日毎の硬度をグラフ化し比例配分し硬度80Dになった時の時間

※ 平均養生気温、平均養生湿度 : 熟成日までの日平均気温、日平均湿度の平均値

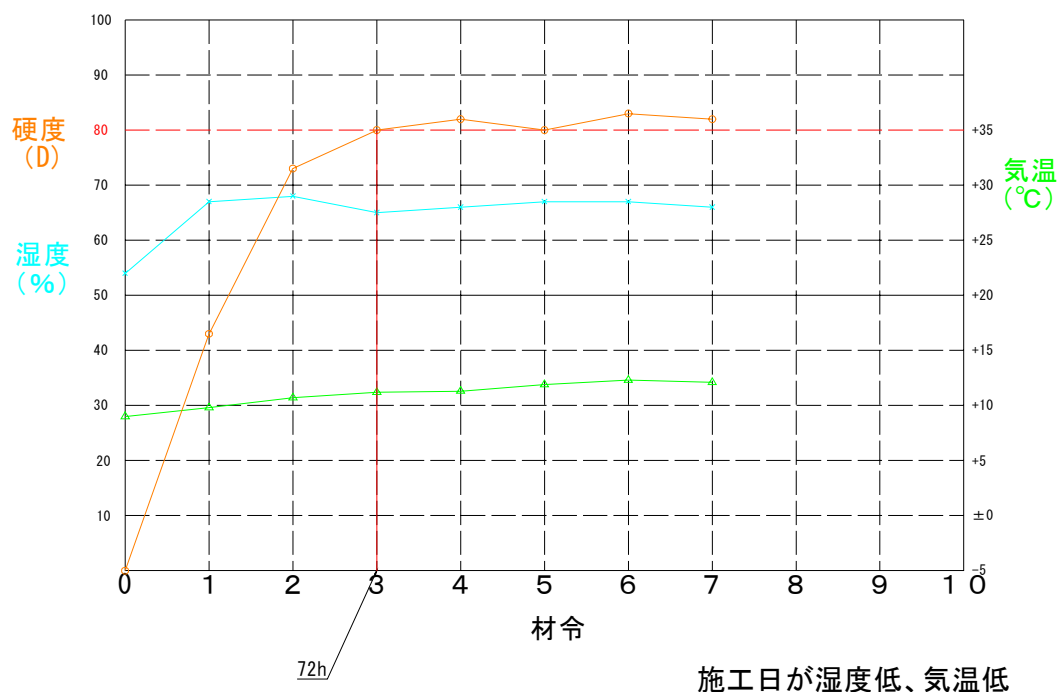
この硬化時間管理表と前測定項目の温度・湿度管理表をグラフ化することで硬化時間を算出する。

③ 硬化時間の算出

温度・湿度管理表と硬化時間管理表よりグラフを作成し硬化完了時間を算出する。
横軸を試験片採取日よりの材令とし、縦軸左側をデュロメーター測定 of 硬度及び湿度とする。
気温は縦軸右側に示す。

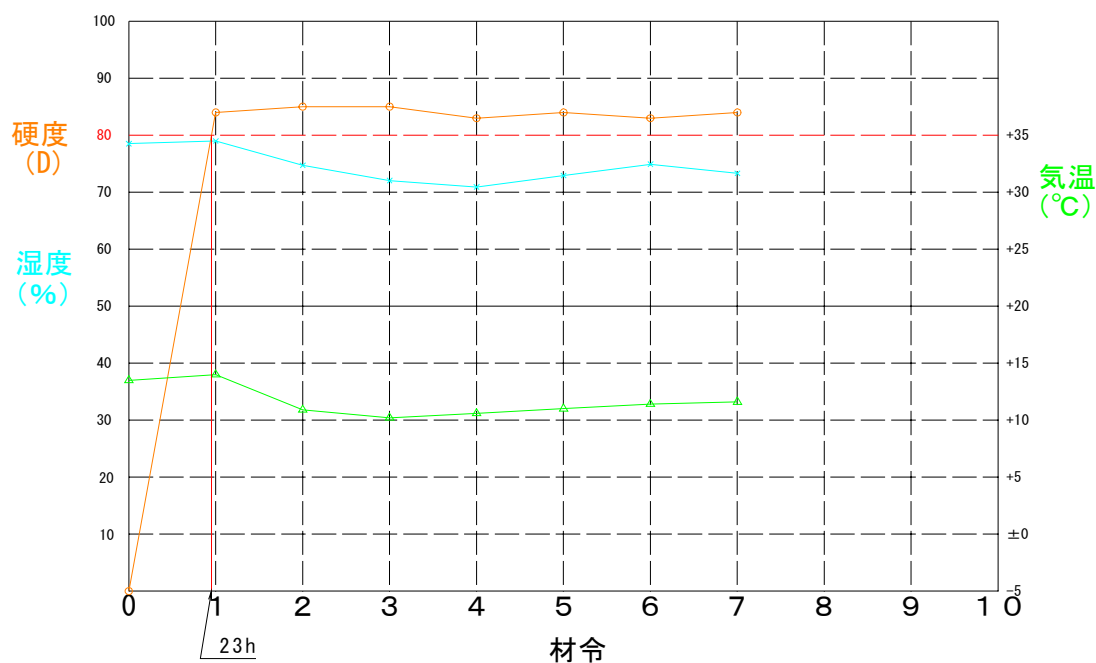
最遅硬化時間

H22. 3. 11注入



最速硬化時間

H22. 4. 23注入



まとめ

気温・湿度・樹脂硬化時間一覧表

No.	注 入 日	硬化時間 (h)	注入時気温 (℃)	注入時湿度 (%)
1	H22.2.23	45	11.0	71.0
2	H22.2.24	39	11.7	73.0
3	H22.2.25	24	12.1	76.0
4	H22.2.26	24	15.7	91.0
5	H22.3.4	45.5	12.0	70.5
6	H22.3.5	66	17.5	87.5
7	H22.3.6	45.5	17.5	76.5
8	H22.3.11	72	9.0	54.0
9	H22.3.20	30	11.0	70.0
10	H22.3.22	66	13.0	47.0
11	H22.3.23	23	12.0	53.0
12	H22.3.24	67.5	13.5	69.5
13	H22.3.29	69	9.5	73.0
14	H22.3.30	65	7.5	62.5
15	H22.3.31	60	8.0	52.5
16	H22.4.1	43	13.0	71.5
17	H22.4.6	23.5	13.5	89.5
18	H22.4.7	24	16.0	89.5
19	H22.4.8	38.5	15.0	60.5
20	H22.4.9	34	13.5	48.0
21	H22.4.12	47.5	19.0	70.0
22	H22.4.13	36	13.5	78.0
23	H22.4.14	22.5	17.5	64.5
24	H22.4.17	68.5	9.0	63.4
25	H22.4.21	23.5	15.5	84.5
26	H22.4.22	44.5	18.5	81.5
27	H22.4.23	23	13.5	78.5
28	H22.4.28	24	14.0	83.0
	平均時間	42.6	13.3	71.1
	標準偏差	17.3	3.1	12.4

メーカー基準硬度(HDD) 80以上

最遅硬化時間: 72 時間

最速硬化時間: 22.5 時間

平均硬化時間: 42.6 時間

平均気温 : 13.3 ℃

平均湿度 : 71.1 %

<考察>

上記数値のカラー部分はそれぞれ平均値より標準偏差外の数値を示す。

注入日の気温が10℃以下の時には、全体的に硬化までの時間大きくなることがわかる。この時の湿度は、50%前後(低い)となっており、ある程度の(60%以上)の湿度も必要かと思われる。(4/17のような例外もある。)

注入日の気温が10℃以上の時、高湿度(75%以上)時にほぼ1日(24時間)で硬化強度まで達しており、それ以下であってもほぼ2日(48時間)以内で硬化強度を確認できる。

注入日より1週間(材令7日)まで、養生温度、湿度、強度を測定したが、一度80Dまで達した硬化強度は湿度、気温の影響もなく一定していた。

今回の施工での樹脂硬化に影響される要件として、**気温10℃以上、湿度65%以上**が適していると考えられる。これにより、材令を2日(48時間)養生期間を取ることで、次工程(鋼板ケレン)作業にスムーズに移行することが出来た。

今後、同種工事は経年劣化及び耐震補強等の事由より継続的に拡大してくると思われる。そこで、製品の特徴や周辺環境からの影響等を一つ一つ把握していくことで、より一層充実させた施工につなげていくために、今後も探究心を忘れずに継続していけたらと考える。