

床版補修用エポキシ樹脂の長期強度特性

保全施設部 保全技術課 山口 良 弘
神戸建設部 工事第一課 澤 登 善 誠

要 約

阪神高速道路公団では、橋梁の健全な維持管理のために毎年床版の点検・補修を行っている。このうち、RC床版補修の主要な工種として採用している鋼板接着工法は約20年間の実績があり、施工数量も他工種を凌駕している。

本工法の補修効果については多くの確認実験により実証されており、また、使用されるエポキシ樹脂接着剤は品質管理基準を詳細に設けて運用している。

これらエポキシ樹脂接着剤のうち最も重要な注入材については、補修の長期的効果を確認する一手法として、施工後15年目までの長期品質管理試験を義務付けている。(昭和53年特別監察)

昭和55年度から長期品質管理試験の運用を開始して以来、10年目の試験結果が得られるようになってきており、本報告ではこれを機に材料面からみた補修工法の安全性を再点検すると共に、長期的な傾向を把握し耐久性を確認した上で、今後の長期品質管理試験の運用方法への提案を行うものである。

キーワード：統計解析、床版補修、鋼板接着工法、エポキシ樹脂、耐久性、長期品質管理、強度

まえがき

鋼板接着工法の昭和55～63年度施工分長期品質管理用試験片のうち、各々0, 2, 5, 10年間経過したものについて、比重、圧縮強度、曲げ強度、引張強度、引張せん断強度の5項目約10000データを得た。これらを統計的な処理により解析した結果、各性能値は10年経過時点でバラツキを考慮しても、エポキシ樹脂の公団規格値をほぼ満足しており、材料の耐久性から照査した鋼板接着工法の安全性は施工後10年目で全く問題ないことが判明した。

回帰分析についてはやや精度不足は否めないが、平均値についての規格値保持年数は引張強度で50

年程度、その他の強度で約20年程度となっている。

また、供用後15年程度経過した現場から採取した試験片からも解析結果が裏付けられている。

解析から削除した異常データは全体の1.3%程度と少ないが、経年と共に増加傾向にあり、試験片作成や保管方法の検討も行った。

本報告では主として10年目のデータが得られたものについて述べる。

1 鋼板接着工法とエポキシ樹脂

1-1 エポキシ樹脂の概説

エポキシ樹脂は熱硬化性樹脂と呼ばれ、構造用接着剤や塗料など、建設材料として広く用いられている代表的な高分子材料であるが、コンクリートや鋼に比べるとその歴史は浅い。

性能面では、一般的に高分子材料は光や熱による劣化を受けやすいと言われており、エポキシ樹脂も温度依存性が高い。耐候性に関しては、材料の組み合わせなどにより性能の向上を図る対策がとられているものの、長期耐久性能についての実験結果がまだまだ不足しており、なお明かにされていないことが多いのも事実である。

1-2 鋼板接着工法におけるエポキシ樹脂

公団では建設材料としてエポキシ樹脂を積極的に採用しており、床版補修工として鋼板接着工法での使用量が多い。鋼板接着工法におけるエポキシ樹脂の役割は次の通りである。

① 充填接着

鋼板接着工法は、コンクリート床版と接着鋼板が一体化していなければならない。そのため、コンクリートと鋼板の隙間を充填するとともに高い接着性が要求される。

② ひびわれへの充填

鋼板はアンカーボルトにより床版下面に仮固定され、その後エポキシ樹脂が注入される(いわゆる注入工法)。樹脂の注入圧力のため鋼板にはたわみが生ずるが、このたわみが回復する過程で内部圧により床版のひびわれにもエポキシ樹脂の浸透が期待される。

③ 鋼板連結

計算上、接着鋼板は床版との合成効果により有効であるとされている。このため、鋼板は連続性を有していなければならない。この添接鋼板による継手にもエポキシ樹脂が接着充填されている。

1-3 エポキシ樹脂の課題

公団では、エポキシ樹脂の許容付着応力度を $\tau_{e,s}=20\text{kgf}/\text{cm}^2$ としている。これは疲労を考慮して定められたものであり、静的引張せん断強度(100kgf/cm²)に対して5倍の安全率が見込まれている。

先に述べたように、鋼板接着工法では、コンクリート床版と鋼板の一体化が重要であり、そのためにもエポキシ樹脂の長期性能については十分に把握しておく必要がある。この点については、昭和53年度の建設省特別観察でも指摘され、直ちに2-1に述べる措置が取られた。

2 長期品質管理試験結果の解析

2-1 試験方法

土木工事共通仕様書には、エポキシ樹脂の長期品質管理試験方法を次のように定めている。

床版補修工事施工完了後に現場作製した試験片を1週間養生し、0年目の試験片とした。

残りの試験片は屋外養生槽中(写真-1参照)に保管し、所定期間ごと(2,5,10,15年)に取り出して試験を行った。

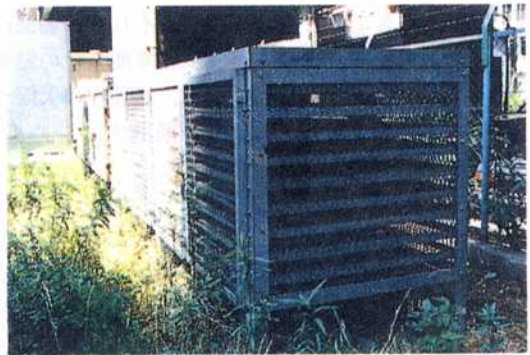


写真-1 屋外養生槽

試験項目および試験方法はJISに準拠して、表-1に示す内容で行う。

表-1 試験項目・試験方法

試験項目	試験規格	規格値
比重	JIS K 6911 (K 7112)	1.0~1.3
圧縮降伏強度	JIS K 6911 (K 7208)	>600kgf/cm ²
曲げ強度	JIS K 6911 (K 7203)	>500kgf/cm ²
引張強度	JIS K 6911 (K 7113)	>300kgf/cm ²
引張せん断強度	JIS K 6850	>100kgf/cm ²

() の表示は昭和58年度から移行した試験方法規格

2-2 統計処理法

前述の方法により得られた、昭和55~63年度施工分の約10000データに及ぶ数値をもとに、今回統計処理を行った。

得られた各工事ごとのデータはそれぞれ製品のロットが異なっているが、試験年度ごとの結果を一群のデータとみなし、また、試験片の欠陥や試験ミスと考えられるデータを削除するために、以下の手法を用いて解析を行った。

- ① 比重
削除データ無し
- ② 圧縮降伏強度 (削除データ数4; 比率0.2%)
各群の平均値740kgf/cm²以上、全平均900kgf/cm²、規格値600kgf/cm²以上などをもとに500kgf/cm²以下を削除。
- ③ 曲げ強度 (削除データ数53; 比率2.4%)
各群の平均値700kgf/cm²以上、全平均860kgf/cm²、規格値500kgf/cm²以上をもとに500kgf/cm²以下を削除。
- ④ 引張強度 (削除データ数60; 比率2.7%)

各群の平均値410kgf/cm²以上、全平均475kgf/cm²、規格値300kgf/cm²以上をもとに250kgf/cm²以下を削除。

⑤ 引張せん断強度

(削除データ数17; 比率0.8%)

各群の平均値の最小値には110kgf/cm²前後のものもあるが、変動は小さい。全平均は147kgf/cm²、規格値100kgf/cm²以上をもとに90kgf/cm²以下を削除。

2-3 統計処理結果

表-2~6に10年目までの結果が得られた昭和55年度施工分の統計処理結果を示す。これらの結果から各強度について以下のことが言える。

圧縮降伏強度は各群のバラツキが小さく、経年ごとに収束傾向にある。強度のピークは5年目付近にあると思われる。

曲げ強度、引張強度は各群のバラツキが大きく経年に従って拡大傾向にある。これらの要因としては、試験片欠陥(気泡、異物の混入や変形)が、引張力の加わる試験に悪影響を与えたものと考えられる。また、強度のピークは2年目付近と思われる。

引張せん断強度は鋼材(SS400)との接着強度を意味しており、そのバラツキは小さく、全体として漸減傾向となっている。この要因としては、鋼板の防錆不良による腐食の進行や試験時の荷重速度管理不良などがある。

3 将来予測

3-1 分析方法

15年目に予定されている試験結果の予測や長期強度を推定するために回帰分析を次のように行った。

- ① 0, 2, 5, 10年目の試験値の平均値を用いて分析を行った。
- ② 昭和55年度施工の各工事から異常値が含まれない工事6件を抽出し、これらの0, 2, 5, 10年目の平均値を用いて分析を行い、①の全平均値による分析結果との整合性を確認した。

表-2 比重

経過年度	データ数 (N)	最大値	最小値	範囲 (R)	平均値 (x)	標準偏差 (s)	変動係数 (v)
0年	60	1.14	1.12	.02	1.135	.006	.005
2年	100	1.14	1.13	.02	1.135	.004	.003
5年	100	1.15	1.13	.02	1.136	.005	.005
10年	99	1.15	1.14	.01	1.143	.005	.004

表-3 圧縮降伏強度

経過年度	データ数 (N)	最大値	最小値	範囲 (R)	平均値 (x)	標準偏差 (s)	変動係数 (v)
0年	100	1197	675	522	891.6	109.2	.123
2年	96	1095	901	194	985.9	41.3	.042
5年	100	1140	807	333	1021.1	65.8	.065
10年	99	1092	913	179	998.9	38.0	.038

表-4 曲げ強度

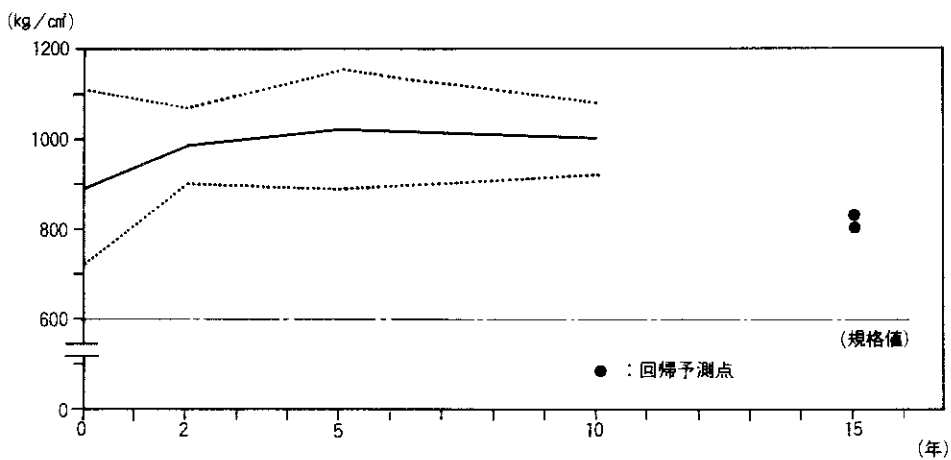
経過年度	データ数 (N)	最大値	最小値	範囲 (R)	平均値 (x)	標準偏差 (s)	変動係数 (v)
0年	100	1048	615	433	802.3	112.2	.140
2年	94	1263	504	759	1022.0	166.5	.163
5年	94	1220	512	708	914.2	207.3	.276
10年	91	1195	517	678	911.1	177.1	.223

表-5 引張強度

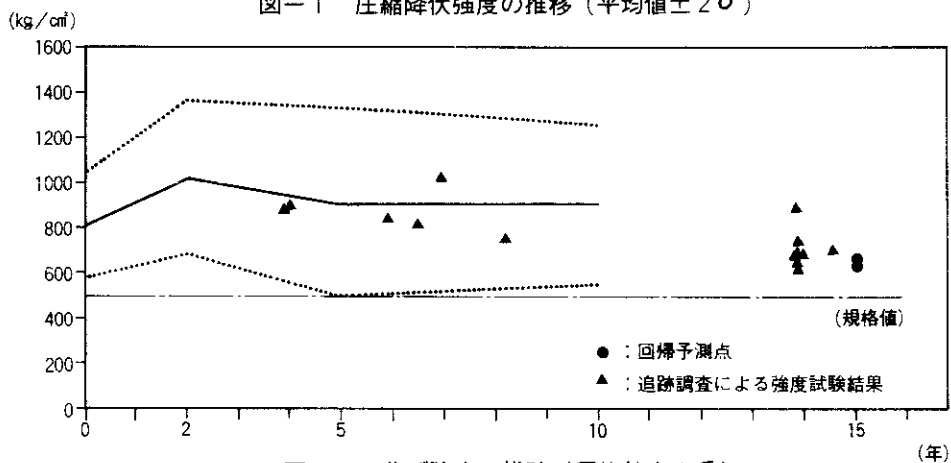
経過年度	データ数 (N)	最大値	最小値	範囲 (R)	平均値 (x)	標準偏差 (s)	変動係数 (v)
0年	100	634	339	295	493.8	81.5	.165
2年	94	729	256	473	541.7	114.6	.212
5年	89	714	260	454	452.5	114.2	.252
10年	90	738	271	467	472.3	121.2	.257

表-6 引張せん断強度

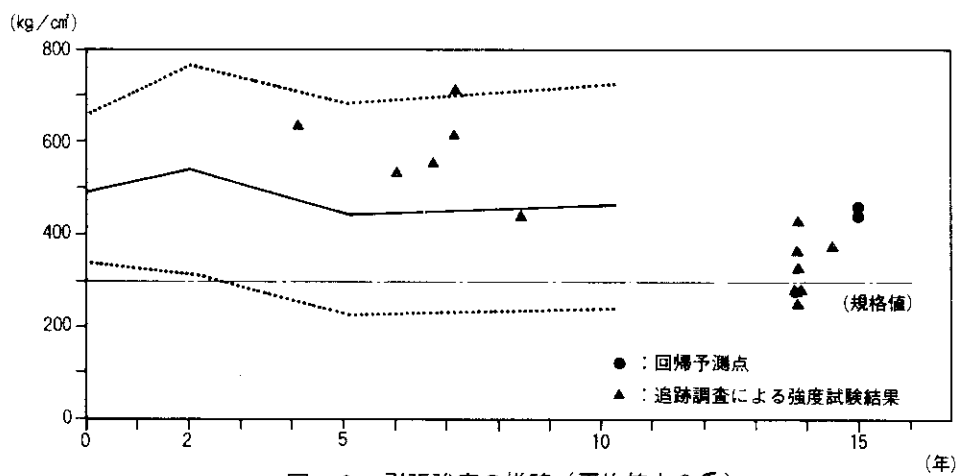
経過年度	データ数 (N)	最大値	最小値	範囲 (R)	平均値 (x)	標準偏差 (s)	変動係数 (v)
0年	100	220	127	93	156.0	18.67	.120
2年	99	205	99	106	149.1	20.92	.140
5年	99	194	101	93	146.6	19.74	.135
10年	98	170	91	79	126.4	15.29	.121



図一 1 圧縮降伏強度の推移 (平均値±2σ)



図一 2 曲げ強度の推移 (平均値±2σ)



図一 3 引張強度の推移 (平均値±2σ)

③ 0年目の平均値を100とした場合の比率数値を用いて分析を行った。

各強度の全体傾向は2次回帰による強度推定の可能性を示唆しているが、55年度分データからの回帰式は引張および引張せん断強度の1次相関が高く、単回帰と2次回帰に分かれた。

3-2 分析結果

各々の回帰式を①～④に示す。上段の式は全平均の回帰式を示し、下段は抽出工事の平均値による回帰式を示す。

① 圧縮降伏強度

$$\sigma_c(t) = -0.37t^2 + 4.81t + 100.80$$

$$\sigma_c(t) = -0.21t^2 + 2.71t + 99.81$$

② 曲げ強度

$$\sigma_b(t) = -0.51t^2 + 5.71t + 105.84$$

$$\sigma_b(t) = -0.45t^2 + 5.16t + 104.90$$

③ 引張強度

$$\sigma_t(t) = -0.94t + 103.23$$

$$\sigma_t(t) = -0.88t + 106.80$$

④ 引張せん断強度

$$\sigma_s(t) = -1.83t + 100.43$$

$$\sigma_s(t) = -1.89t + 100.70$$

3-3 公団規格値保持年数

これらの回帰式を用いて、0年目平均強度と定数項の補正から公団規格値の保持年数を単純試算したものを表-7に示した。

表-7 規格値保持年数(試算)

試験項目	試験結果(年)
圧縮降伏強度	18.2 ~ 19.3
曲げ強度	17.9 ~ 18.0
引張強度	48.5 ~ 60.1
引張せん断強度	20.0 ~ 25.8

一次回帰ではなだらかな下降線を描くため、規格値保持年数が長くなっている。一方、鋼板接着工法の追跡点検(鋼板撤去による解体調査)を通行止工事に行っており、供用中の注入材を現場採取してその性能を確認している。材料の厚みから曲げおよび引張試験しか行えないが、平成2年度には本報告のため多くのサンプリングを行った。これらの結果も今回の解析結果を裏付けるものとなっている。

図-1～4に各強度の推移図を示した。

図中に回帰分析から得られた15年目の回帰予測点と8年間の追跡調査で得たデータをプロットした。これらのデータは何れも平均値±2σの範囲内にあると判断され、同一群内のデータとみなせる。すなわち、長期強度解析から得られた結果と同様に材料性能からの安全性を裏付けるものとなっている。

4 まとめ

今回の解析結果から、10年経過後におけるエポキシ樹脂注入材の性能が確認されるとともに、20年程度の強度保持も試算ではあるが確認することができた。

長期品質管理試験の建設省報告義務もあり、ただちに本業務を中断することはできないが、15年目データの確認を経て今後の長期品質管理体制の見直しに取り組む計画である。

しかしながら、長期品質管理試験も試験片の作成や管理精度が向上しており、新しいデータほど長期性能低下が小さい傾向にある。また、樹脂材料の耐久性能確認としても他にほとんど例のない貴重なものでもあり、現在保管している試験片への対応を含め慎重に進めて行きたい。

また、写真-2,3に示すように試験片保管状況などにも検討の余地があり、精度の高い結果が得られるように改善する必要がある。

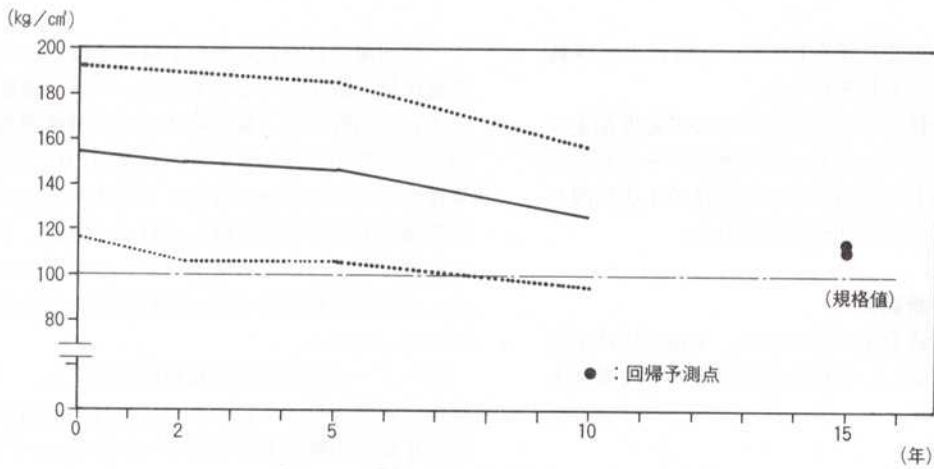


図-4 引張剪断強度の推移 (平均値±2σ)

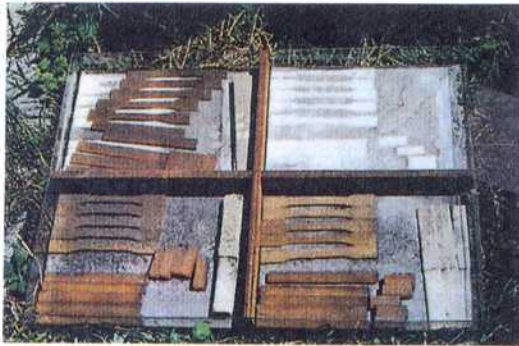


写真-2 保管初期状況



写真-3 保管後期状況

5 おわりに

本報告時点ですでに昭和56,57年度施工分10年目のデータが得られており、平成7年度には一回目の15年目データが得られる予定である。

これらの蓄積を待ってさらに精度の高い解析を行い、今後報告する予定である。

なお、本解析業務にあたり、御指導頂きました京都大学工学部土木工学科 宮川豊章助教授に厚く御礼申し上げます。

参考資料

阪神高速道路公団・日本材料学会：床版補修用注入材の長期管理試験結果解析業務報告書

(平成3年3月)