

論文

[1083] 温泉水に浸漬した高耐食性金属箔被覆コンクリート供試体の耐久性に関する研究

正会員 白山和久 (筑波大学構造工学系)  
 正会員 平賀友晃 (戸田建設技術研究所)  
 正会員 ○板谷俊郎 (戸田建設技術研究所)

1. はじめに

本研究は、鉄筋コンクリート (RC) 構造物を高耐食性金属によって被覆し、RC構造物の耐久性向上を図るものである。<sup>1)~3)</sup>

ここでは、劣化が著しい温泉地帯の構造物を対象として考え、各種の金属板 (箔を含む) および金属板を用いて被覆したRC供試体を、草津温泉の水中と大気中に半分ずつばくろした場合の耐食性について検討した結果を報告する。

この温泉水浸漬・ばくろ実験は、写真-1に示すように草津温泉の湯畑において行った。ここに、温泉水に含まれている主成分を表-1に示す。

なお、本研究は筑波大学 (白山和久, 小寺沢良一, 奥田重雄, 田崎 明各教授および山本泰彦助教授) と戸田建設との共同研究として行われた。

2. 金属板供試体の温泉水浸漬実験

2.1 実験方法

金属板供試体は、表-2の金属を用い、表-3に示すような1枚の金属片による供試体 (母材) および2枚の金属片を接着剤ならびに溶接によって接合した供試体とし、それぞれを巾5cm×長さ10cmの大きさに成型した。

このうち接着剤接合供試体は、接合部分の表面をアセトンにより拭いた後、エポキシ樹脂系接着剤 (コンクリート用) にシランカップリング剤を10%混和したものを塗布して張合せ、24時間押えつけて養生した。

表-2 使用金属の成分

金属	厚さ (μ)	成分 (Wt%)
アモルファス	MBF20	62
ステンレス	SUS304	310
チタン	TP35C	100

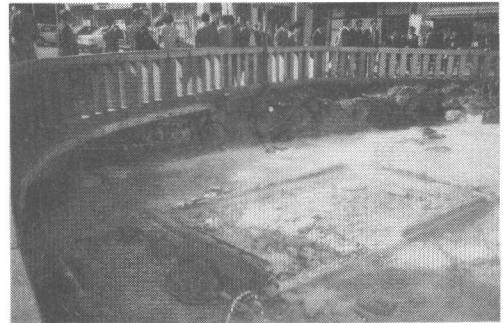


写真-1 温泉水浸漬実験状況 (草津・湯畑)

表-1 温泉水に含まれている成分量

成分	成分量 (mg)
陽イオン	
ナトリウムイオン (Na <sup>+</sup> )	43.5
マグネシウムイオン (Mg <sup>2+</sup> )	26.1
カルシウムイオン (Ca <sup>2+</sup> )	72.0
鉄 (II) イオン (Fe <sup>2+</sup> )	15.13
アルミニウムイオン (Al <sup>3+</sup> )	45.2
計	225.12
陰イオン	
塩素イオン (Cl <sup>-</sup> )	305.0
硫酸イオン (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	654.0
硫酸水素イオン (HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	183.0
計	1153.0
非溶解成分	
メタケイ酸 (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	246.0
計	253.09
溶存ガス	
遊離硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	8.8

pH=2.08, 温泉水温度=58℃

表-3 金属板供試体の種類・形状

形状	接着剤接合 <sup>*1)</sup>		溶接接合 <sup>*2)</sup>	
	100	50	100	50
アモルファス	○	○		
ステンレス	○	○	○	
チタン	○	○	○	

\*1) エポキシ系 (コンクリート用) + シランカップリング剤。  
 \*2) シーム溶接。

また、溶接接合供試体の場合は、シーム溶接によって行った。

これらの供試体の浸漬方法は、金属片どうしが直接接することのないように、ビニール製の網袋へ入れて温泉水に静置した。

劣化（耐食性）の測定は、第1回を浸漬から1.5ヵ月経過した供試体の外観観察および重量測定により行った。

## 2.2 実験結果

### (1) 外観

各種の供試体を温泉水へ約1.5ヵ月間浸漬させた時点の調査において、ステンレス板の場合、母材および接合部とも完全に消失していた。

アモルファス金属箔は、浸漬前のつや・光沢が全く失われ、写真-2に示すように母材自身が黒ずむとともに、表面に乳白色の物質が多く付着していた。また、接合部分では接着剤がはみ出している箇所にも乳白色の付着物が多く認められた。これらは、温泉水の浸食によって供試体の表面に微細な凹凸が生じ、湯花などが付着し易い状態になったためと推定される。なお、切断した端面は腐食によって少し欠損していた。

チタン箔の場合は、浸漬前の状態とほとんど変りがなく、健全であった。

### (2) 重量

金属片の重量変化は、浸漬時の付着物を取除くと図-1のようである。

アモルファス金属箔は5～6%の減少があったのに対して、チタン箔は0～1%の増加であり、ほとんど腐食しなかった。

## 2.3 まとめ

- ・ステンレス板は、草津温泉水に対する耐食性が乏しい。
- ・今回使用したアモルファス金属箔は、草津温泉水に対しては高耐食性とは言えない。従って、草津温泉にはより耐食性の強い成分のアモルファス金属箔を用いる必要がある。
- ・チタン箔は草津温泉に対して、高い耐食性を示した。

## 3. コンクリート供試体の温泉水浸漬ばくろ実験

### 3.1 実験方法

#### (1) 実験計画

実験計画を表-4に示す。供試体の種類は表-5に示す被覆を行ったものおよび被覆なしのもの計7種類である。

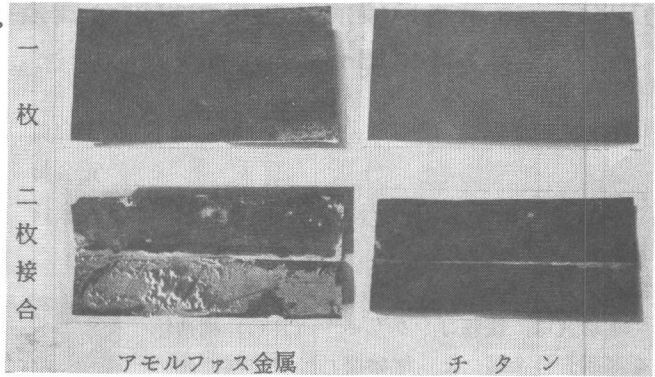


写真-2 金属片の表面状態

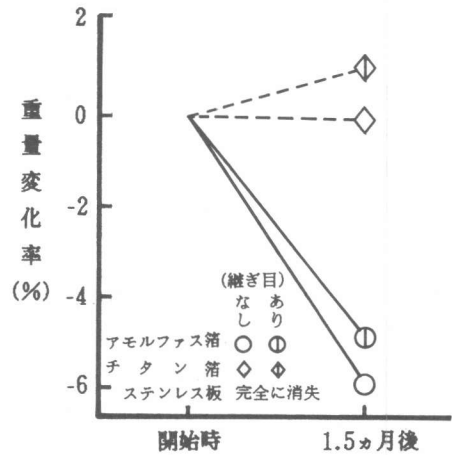


図-1 金属片の重量変化

表-4 実験計画

要因	水準
1. 被覆金属	アモルファス, ステンレス
2. 被覆材の形状	平状, 折曲げ
3. 被覆材の裏面	素材のまま, 砂付け
4. 継ぎ目	なし, あり〔突合せ, 重ね〕
5. 被覆時期	先付け, 後付け

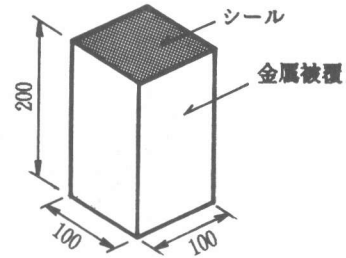


図-2 供試体の形状・寸法

表-5 被覆材料別の被覆方法

被覆金属	被覆方法	a.	b.	c.	d. 継ぎ目なし	
		突合せ	重ね	折曲げ	(I)	(II)
アモルファス	先付け	○	○	○	○	
	後付け		○			
ステンレス	先付け					○

表-6 コンクリートの配合

最大材寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	重量 (kg/m <sup>3</sup> )				A E 減水剤 (kg/m <sup>3</sup> )
					単位水量	普通ポルトランドセメント	川砂 青梅産	川砂利 青梅産	
20	18	60	52	4	189	315	897	830	0.788

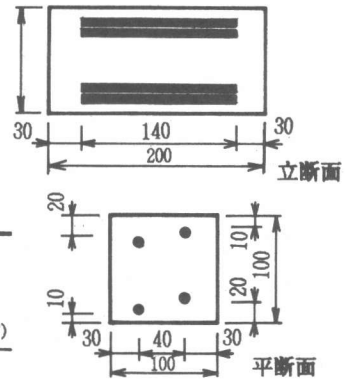


図-3 配筋状況

(2) コンクリート供試体の作製

供試体の形状は図-2 に示すとおりである。コンクリートは表-6 に示すような一般的なものをを用いた。このコンクリートの内部には図-5 に示すように、9φのみがき鉄筋を4本配置した。打込み方法は、鉄筋の配筋精度を確保するため、コンクリートを2層に分け、1層目打込み後3日目に2層目を打込み、3日間20℃RH90%の恒温室中に置いた後、脱型した。被覆のある供試体は、コンクリートの側面4面に金属板を被覆し、上面および下面の2面にはタールエポキシを用いてシールした。

(3) 被覆方法

金属板の被覆は、先付けおよび後付けの2通りとした。先付けの場合には、金属板を型わくの内側に仮留めしておき、コンクリートと接する金属面上に接着剤(エポキシ樹脂系(コンクリート用)+シランカップリング剤10%混和)を塗布し、5号珪砂を付着させ、2日間養生した後にコンクリートを打込んだ。一方、後付けの場合には、コンクリート打込み後7日の後に、同じ接着剤により金属箔をコンクリート表面に張付けた。金属板被覆後、搬出までの間は、20℃、RH90%の恒温室において養生した。

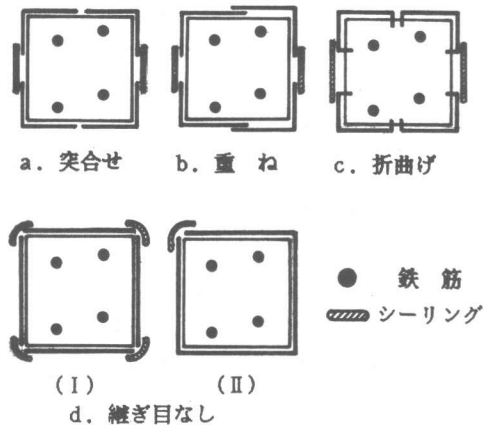


図-4 被覆方法の種類(平断面)

(4) 浸漬方法

供試体どうしが接触しないように仕切りを入れたかごに供試体を立てて入れ、材令29日目に、かごとと温泉水に浸漬した。このとき、供試体の約半分が水中に入るようにした。

(5) 測定方法

測定項目を表-7に示す。このうち、①は1.5ヵ月および3ヵ月経過時に行い、②~⑦は3ヵ月経過時に行った。なお、温泉の水位は供試体の状況からみて、5cm程度の変動があったものと思われる。

3.2 実験結果

① 外観

被覆なし供試体は1.5ヵ月時において水中部分の劣化が見られ、約3mmの深さまで脆弱化していた。3ヵ月時では、脆弱化部分は4~5mm程度になった。また、空気に接していた部分には、黄色の付着物（主にイオウ分と思われる）が見られた。

ステンレス被覆供試体は、1.5ヵ月時においては、表面が黄色の付着物で覆われていたが、3ヵ月時においては、シール材が付着していた最上部を除いて、金属がすっかり消失してしまい、下地の接着剤が露出していた。さらに、水位の変動する部分からは接着剤も劣化しており、コンクリートが露出していた。ステンレス板はコンクリートに張ると、ステンレス片を温泉水に浸漬した場合よりも腐食が減り、1.5ヵ月よりも長く金属が持った。

アモルファス被覆供試体は、1.5ヵ月時において、空気に接していた部分に黄色の付着物があり、また全面にわたって金属の光沢がなくなっていた。3ヵ月時においては、水位の変動する部分の金属箔が腐食・消失しており、コンクリートの一部分が露出していた。

継ぎ目による違いを見ると、1.5ヵ月時においてはいずれも健全であるが、3ヵ月時においては若干差が見られ、「折曲げ」継ぎ目をした金属箔がコンクリートとの付着が良く、他の継ぎ目では金属箔が剥がれ易くなった。

表-7 測定項目

測定項目	測定方法
① 外観	目視、写真
② 重量	秤り(感量0.1g)
③ コンクリート中の中性化深さ	フェノールフタレン
④ コンクリート中のSO <sub>3</sub> 量	化学分析(HCl, BaCl <sub>2</sub> )
⑤ コンクリート中のCl <sup>-</sup> 量	化学分析(吸光度法)
⑥ 鉄筋腐食	腐食重量、腐食面積
⑦ コンクリートの圧縮強度	10φ×20cm

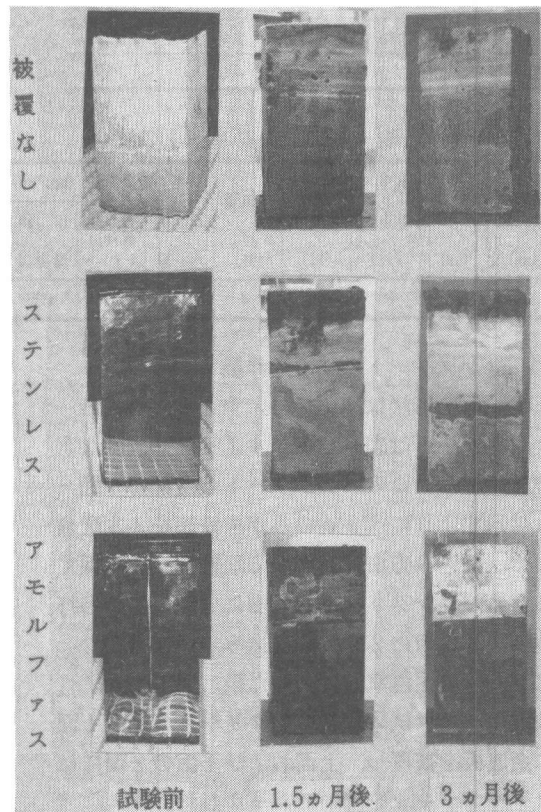


写真-3 コンクリート供試体の腐食状況

「先付け・後付け」による差は、ほとんど見られなかった。

② 重量 (3ヵ月浸漬)

供試体の重量変化を図-5に示す。減少率は、被覆なし、ステンレス被覆、アモルファス被覆の順に小さくなっている。

「被覆なし」は約6%の減少となった。これは欠損寸法から算出した断面欠損率 6.2%にほぼ一致する。

「アモルファス被覆」は重量が若干増えた。これは金属箔の消失およびコンクリートの欠損の量よりも付着物や水分の浸透等による増加量の方が多かったためであると思われる。

継ぎ目による差違は、ほとんどなかった。

「先付け・後付け」による違いを見ると、後付けの方がほとんど重量変化がなく、先付けよりも水密性が高いと思われる。

③ 被覆供試体コンクリートの中酸化

被覆前のコンクリートは、中性化していない状態とした。3ヵ月経過時においては、「被覆なし」が 5.5mm, ステンレス被覆のコンクリートが 3.1mmを示し、アモルファス被覆のコンクリートはほとんど中性化していなかった。

④ コンクリート中のSO<sub>3</sub>浸透量

コンクリート表面からの深さ別の、モルタル中に含まれるSO<sub>3</sub>量を図-6に示す。試験前のコンクリート中のSO<sub>3</sub>量を測定するために、被覆供試体と同じコンクリートを用いて円柱供試体を作製し、20℃, RH90%の恒温室内で養生して、基準のコンクリートとした。これを分析して、基準値0.69%を得た。これから、「被覆なし」では、表面からの深さが0~1cmの部分にSO<sub>3</sub>が浸透したと考えられ、アモルファス被覆およびステンレス被覆では、SO<sub>3</sub>がほとんど浸透していないと考えられる。

⑤ コンクリート中の塩素イオン浸透量

コンクリート表面からの深さ別の、モルタル中に含まれる塩素イオン量を図-7に示す。基準のコンクリート中に含まれる塩素イオン量は、0.038%であった。「被覆なし」では、表面か

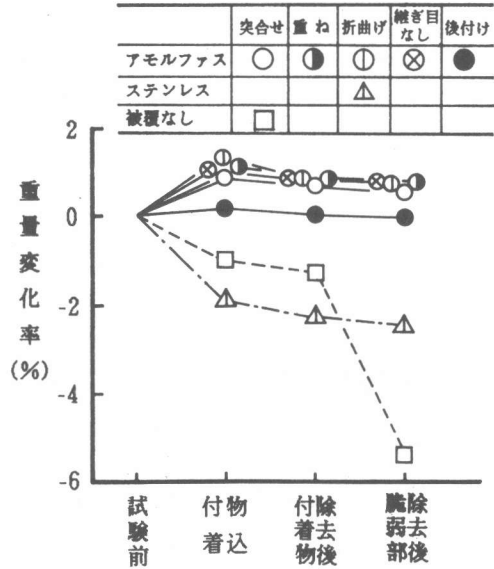


図-5 供試体の重量変化

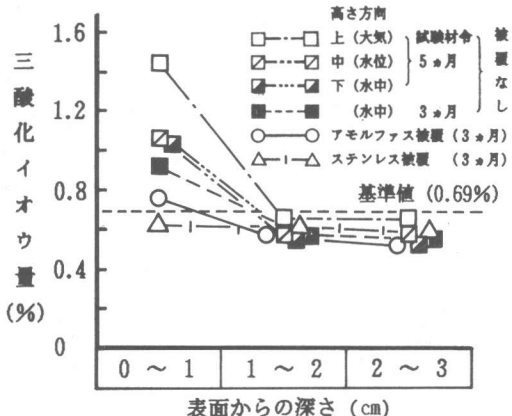


図-6 コンクリート中のSO<sub>3</sub>量

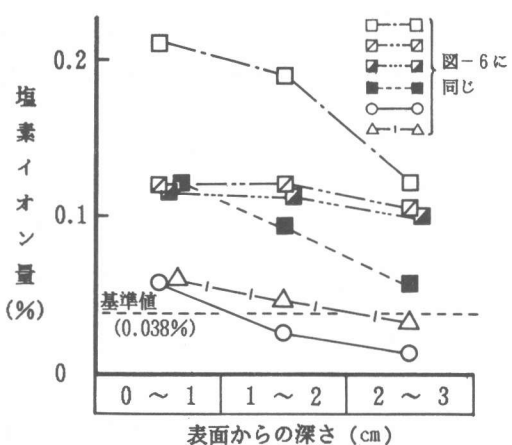


図-7 コンクリート中のCl<sup>-</sup>量

らの深さが3 cmの部分まで塩素イオンが浸透したと考えられる。アモルファス被覆およびステンレス被覆では、表面から1 cmの深さまで僅かに塩素イオンが浸透したが、表面からの深さが1 cm以上のところでは、ほとんど浸透していないと考えられる。また、高さ方向については、大気部分、水位部分、水中部分の順に浸透量が多くなっている。

#### ⑥ 鉄筋腐食

5ヵ月浸漬では、コンクリート内部の鉄筋は、被覆したのも、被覆していないものも腐食していなかった。

#### ⑦ コンクリートの圧縮強度

温泉ばくろしたコンクリート円柱供試体の圧縮強度は、同一材令の気中養生 (20℃, RH90%) の供試体強度 (328kg f / cm<sup>2</sup>) に比べて材令3ヵ月時点において強度比が0.9 となった。これは、温泉浸食によるコンクリートの断面欠損率の0.92とほぼ一致する。

#### 3.3 まとめ

- ・アモルファス金属箔 (MBF20) 被覆コンクリートは、ステンレス板 (SUS304) 被覆コンクリートよりも耐食性が大きい。
- ・金属板は、単体よりもコンクリートを被覆した場合の方が、温泉水の浸食に対して侵されにくい。
- ・温泉水に浸漬されている金属板およびコンクリートは、水位の変動する部分が最も劣化し易い。

#### 4. 結 び

以上、本実験の範囲で、次のことが言える。

- ①チタン箔は、アモルファス金属箔より草津温泉水に対して耐食性が高い。
- ②アモルファス金属箔は、耐食性を高めるために、成分の改良が必要であろう。
- ③耐食性の高い金属板を用いれば、金属板の被覆によって、コンクリートの劣化進行を抑制する効果がある。
- ④金属板を被覆する場合は、金属板相互の継ぎ目が耐食上の弱点にならないよう、ジョイントの方法を工夫する必要がある。

現在、長期材令における劣化性状の計測を予定しているので、今後報告したいと考えている。

#### 謝 辞

本研究の分析の一部は、三菱鉱業セメント(株)中央研究所に協力を頂いた。また、金属材料の提供に当っては、三井物産(株)電線・電子素材部その他の方々に協力を得た。ここに謝意を表わします。

#### 参考文献

- 1) 白山和久, 平賀友晃ほか: 鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上のための高耐食性金属板被覆, コンクリート工学年次講演会論文集, 1985, 1987.
- 2) K. SHIRAYAMA, T. ITATANI et al.: Metal Foil Covering For Improving Durability of Reinforced Concrete Structures, Proc. of the 1st International RILEM Congress, 1987.
- 3) 白山和久, 板谷俊郎ほか: 高耐食性金属箔被覆による鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上に関する研究, 材料研究連合講演会梗概集, 1987.