

V-295 中性の温泉水に対するコンクリートの耐久性に関する研究

名古屋工業大学 学生員 ○石神 孝之
 名古屋工業大学 正会員 梅原 秀哲
 名古屋工業大学 正会員 吉田 弥智

1. まえがき

わが国は、世界有数の火山国であり、それとともに全国各地に温泉が分布している。このような温泉地帯にコンクリート構造物を造る場合、コンクリート構造物は温泉水により浸食をうける可能性がある。コンクリートに対して浸食を起こすと考えられる温泉水は、主に酸性（ $\text{pH} < 4$ ）の温泉水である。これら温泉水は別府、草津温泉などに代表されるが、その分布は一部地域に限られている。一方、その他の温泉地帯は、登別、花巻、鬼怒川、熱海、道後温泉などに代表されるように、ほとんどが中性から弱アルカリ性の温泉水であり、アルカリ性の場合にはコンクリートの性質より化学的浸食はあまり考えられないが、中性の温泉水については化学的浸食の可能性がある。そこで本研究では、当研究室にて現在も継続中の温泉水に対する浸漬試験を基に、中性の温泉水に対するコンクリートの耐久性を調べるとともに、浸食要因などについても検討を行うものである。

表-1 温泉水の主な含有化学成分

泉 質	別府温泉		草津温泉		中ノ湯温泉		平湯温泉
	埋原温泉	明ばん温泉	羅田温泉	万代鉱温泉	白旗温泉	羅田温泉	
含明礬硫酸酸性系	酸性硫酸水素系	単純系	——	——	単純系	単純系	
pH	1.75	2.25	6.60	1.0	1.1	6.6	7.4
泉 温 (°C)	82	82	54	93	63	50	60
Cl^- (gpm)	0.49	1.07	16.7	647.2	95.7	——	150.0
SO_4^{2-} (gpm)	3700	550	63	1463.0	1439.0	——	12.0
HCO_3^- (gpm)	0	0	204	0.0	——	456.1	690
H_2S (gpm)	0.34	6.05	0.88	0.0	4.3	0.243	——

酸性の温泉水に対しては徳光ら¹⁾によって別府温泉、依田ら^{2), 3)}によって草津温泉などで調査されている。この2種類の温泉水の化学成分を表-1に示す。また、これらの調査による結

果の1つとして別府温泉におけるコンクリートの供試体の重量減少率を図-1に示す。このように、酸性の温泉水によりコンクリートは激しく浸食され、その程度は、その酸の強弱すなわちpHの値の大小によって支配され、使用セメントにかかわらずどのようなコンクリートも浸食されるという結果が得られている。一方、中性の温泉水に対しては、本研究室において、中ノ湯温泉、平湯温泉に対して行っている。これらの実験を行った温泉の化学成分を表-1に、使用したセメントの化学成分を表-2に示す。

3.1 中ノ湯温泉水

中ノ湯温泉水に対しては、普通セメント、中庸熱セメント+フライアッシュ、混合粉砕の高炉セメントB種の3種類のセメントを用い、5年間のコンクリートの耐久性試験を行った。この実験の結果として、供試体の重量変化量を図-2、圧縮強度を図-3に示す。重量変化は材令1、2年目から普通セメント、中庸熱セメント+フライアッシュを用いたコンクリートはかなり減少しており、混合粉砕の高炉セメントB種は材令5年目においてもほとんど減少していない。圧縮強度は材令1～3年目までは普通セメントが最も大きく、中庸熱セメント+フライアッシュが最も強度が低下しているが、材令4年目以降においては差異はほとんどない。

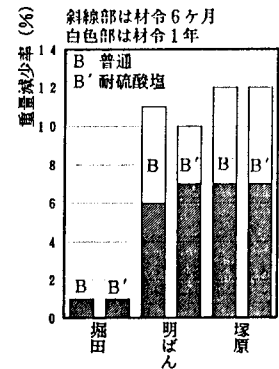


図-1 重量減少（別府）

表-2 セメントの化学成分（%）

種 類	熟熱減量	不溶残分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
普通セメント	0.6	0.2	21.7	5.2	3.0	65.0	1.4	2.0
中庸熱セメント	0.4	0.8	23.3	4.1	4.0	63.3	0.8	2.0
中庸熱セメント+F.A.	1.2	0.7	31.8	11.0	4.5	46.1	1.0	1.7
高炉セメントB種	1.2	0.2	28.1	11.4	2.2	49.9	4.7	2.1

注) F.A. = フライアッシュ

示す。重量変化は材令1、2年目から普通セメント、中庸熱セメント+フライアッシュを用いたコンクリートはかなり減少しており、混合粉砕の高炉セメントB種は材令5年目においてもほとんど減少していない。圧縮強度は材令1～3年目までは普通セメントが最も大きく、中庸熱セメント+フライアッシュが最も強度が低下しているが、材令4年目以降においては差異はほとんどない。

3.2 平湯温泉水

平湯温泉水に対する耐久性試験は、普通セメント、中庸熱セメント、中庸熱セメント+フライアッシュ、混合粉砕の高炉セメントB種および分離粉砕の高炉セメントB種の5種類のセメントを用いて行われ、現在も継続中であり材令2年までの結果が得られている。この実験の結果として重量変化を図-4、圧縮強度を図-5に示す。重量変化は材令半年以降、普通セメント、中庸熱セメントは減少しており、高炉セメントB種および中庸熱セメント+フライアッシュは減少していない。そして材令2年では中庸熱セメントが最も減少している。圧縮強度は材令1年まではいずれの供試体も増加傾向にあり、材令2年でやや減少している。そして混合粉砕の高炉セメントB種が最も大きく、普通セメントが最も値が小さくなっている。

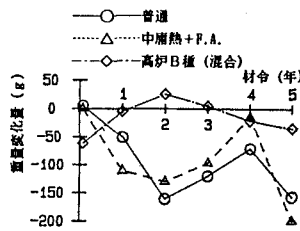


図-2 重量変化(中ノ湯)

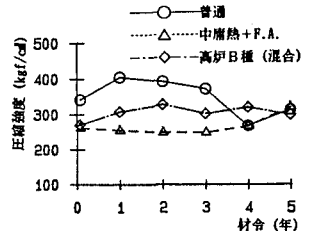


図-3 圧縮強度(中ノ湯)

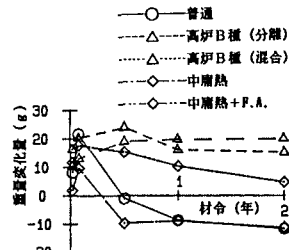


図-4 重量変化(平湯)

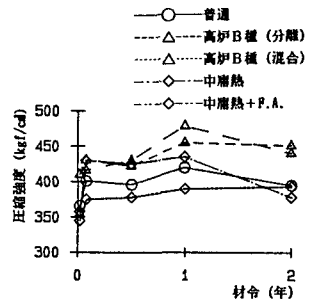


図-5 圧縮強度(平湯)

3.3 中ノ湯温泉と平湯温泉との比較

中ノ湯温泉は材令5年、平湯温泉は材令2年までと試験材令の違いがあるが、この二つの温泉水を比較すると、含有する陰イオンには両方とも HCO_3^- イオンが含まれ、その量は平湯温泉水の方が多く、また、陰イオンの総量も平湯温泉水の方が多い。しかしpHの値は中ノ湯温泉水の方が小さくなっている。ここで、コンクリートの浸食の程度を比較すると、普通セメントはどちらの温泉水に対しても重量減少をしており、中性の温泉水に対してもコンクリートは浸食を受けることがわかる。また、中庸熱セメント+フライアッシュの重量変化の違いより、中ノ湯温泉水の方がコンクリートを浸食する程度は大きくなっている。これを中ノ湯温泉水の成分より判断するとコンクリートの浸食は HCO_3^- イオンによるものであると考えられる。しかし、平湯温泉水はややアルカリ性側にあることより、浸食が若干抑制されていると考えられる。また混合、分離にかかわらず高炉セメントB種は、いずれの温泉水に対しても重量減少がほとんど無く、耐久性に優れていると言えよう。これは高炉セメントは他のセメントと比較して、化学的反応性の高いCaOが少なく、逆に抵抗性の強い Al_2O_3 が多く含まれているからであり、また、これより中性の温泉水による浸食は主にセメント中のCaO成分との反応によるものと考えられる。

4. まとめ

本研究によって得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) 温泉水によるコンクリートの浸食はpHの値に大きく影響され、その値が小さいほど浸食は大きい。ただし、中性の温泉水の場合、浸食は含有する HCO_3^- などの陰イオンの量の影響も受けると考えられる。
- (2) 酸性(pH<4)の温泉水に対しては使用セメントにかかわらずどのようなコンクリートも浸食されるが中性の温泉水に対しては高炉セメントB種などが耐久性に優れていると言えよう。

[参考文献]

- 1) 徳光・松下他：別府温泉におけるコンクリートの腐食試験，コンクリート工学，Vol.16, No.11, Nov.1978
- 2) 依田・横光：草津温泉及び塩酸、硫酸、硫酸ナトリウム溶液中に浸漬したコンクリート，セメント技術年報，No.37
- 3) 依田・横光：温泉の作用を受けたコンクリートの劣化(草津温泉白旗に浸漬した場合)，セメント技術年報，No.38