報告 潤滑油に曝されるコンクリート構造物における劣化事例

川満 逸雄^{*1}·鎌田 敏郎^{*2}·内田 慎哉^{*3}

要旨:鉱物油である潤滑油に曝されるプレス機基礎コンクリートに,油が原因と考えられる 劣化現象を確認した。劣化したコンクリートの状況をよびこのコンクリートコアに関して強 度試験,単位体積質量,配合推定および熱分析を実施した。これらの結果をもとに,劣化の メカニズムに関して考察を行った。

キーワード:鉄筋コンクリート基礎,劣化,潤滑油,疲労

1. はじめに

コンクリートの油による劣化は,動植物油に よる劣化は報告¹⁾されているが,鉱物油である潤 滑油による劣化現象は今まで報告されていない。 著者らは,プレス機の基礎コンクリートに潤滑 油(油圧作動油)によるものと考えられる劣化 現象を確認した。潤滑油は,圧力機器の作動油 として多くの生産現場で使用されており,潤滑 油に曝されているコンクリートも数多くあるも のと想像でき,これらの原因を究明することは 生産設備の安全性に寄与できものと考える。

本論文では,劣化現象の報告および劣化のメ カニズムの考察を行ったものである。

2. 劣化発生状況

2.1 プレス機基礎について

劣化現象の確認された基礎は,油圧プレス機の基礎で建設から30年以上経過したものである。 図-1にプレス機のイメージ図を示す。基礎内にある油圧ピストンの動きが,フレームを通して ハンマーに伝えられ,プレス材を圧縮する機構 となっている。基礎は,直径約9mの連続地中壁 の内部に鉄筋コンクリートにより構築されてい る。プレス機とコンクリート基礎は,4本コン クリート柱に埋め込まれたアンカーにより固定 されている。劣化の確認された部分はプレス機



図-1 プレス機イメージ

を基礎に固定するためのアンカーボルト周囲の コンクリートで,絶えず上部プレス機から潤滑 油が流れ落ちる状態であった。コンクリート周 辺の温度は,絶えず40~50℃の状態である。

2.2 劣化状況

写真-1にコンクリート表面の状況を示す。 コンクリート表面は油により覆われており。表 面の潤滑油は,揮発成分が蒸発しタール状にな っている。**写真-2**にひび割れ発生状況を示す。 ひび割れは,約 50cm 間隔に水平,鉛直方向に発 生している。また,ひび割れは表面だけでなく 内部深くまで達している。ひび割れ部を観察す ると,ひび割れ部の角が欠けており,プレス機 の駆動と連動して開閉していることがうかがえ

*1 (株)日建設計シビル 技術開発部長 工博 (正会員) *2 岐阜大学 社会基盤工学科助教授 工博 (正会員) *3 岐阜大学大学院 工学研究科生産開発システム工学専攻 (正会員)



写真-1 コンクリートの表面

る。

2.3 ひび割れ深さの計測

ひび割れ深さを計測するために Tc-To 法によ る超音波計測を実施した。実施状況を**写真-3** に示す。超音波が受信できず計測不能の場所が 多く,計測できた場所では約15cm との結果を得 た。計測不能の原因については,漏電等にとも なう電気ノイズ,ひび割れが貫通している等が 考えられるが,計測結果からは特定できなかっ た。

2.4 ひび割れの挙動計測

コンクリート表面の観察より,ひび割れが開 閉していると想像されるため,ひび割れ部にπ ゲージを設置しプレス機の動きとの関係を計測 した。設置状態を**写真-3**に示す。図-2に, ひび割れの開閉とプレス機の動きを示す。プレ ス機の金型が材料に接触した時点で,ひび割れ 幅が変動しており,プレス機の作動による衝撃 がひび割れに伝わっていることがわかる。ひび 割れの開きは最大 0.015mm である。



写真-2 ひび割れ発生状況



写真-3 超音波計測実施状況およびπゲージ 設置状態



3. コンクリートコア試験

3.1 コアの採取

コンクリート内部の状況を知るために, コン クリートコアを採取してコア試験を実施した。



写真-4 コアの採取状況



写真-5 コンクリート表面のコアの状況

コア採取は、プレス機を支持する4本のアンカ ー周辺の基礎コンクリート柱より採取した。ア ンカー部は高さ 3m, 直径 1.2m の円柱状になっ ており、コア採取は高さ約 1.5m の位置で水平方 向に中心へ削孔し、出来る限り深く採取するよ うにした。コアは、鉄筋への損傷を避けるため に \$ 30mm で採取した。

3.2 油の浸透状況

(1) コア表面の状態

写真-4に採取したコアの写真を示す。全体 に黒色で油臭がすることから、コンクリートの 深部まで油が浸透していることがうかがえる。 また、深部の方がもろくなっており、砂分が分 離しているような状態になっている。また、写 真-5に、構造表面付近のコアの状態を示す。 基礎表面より 7cm 付近までは、コア内から油が 浸出しているのが確認された。

(2)示差熱分析

コアより深さの異なる位置で試料を採取し、 示差熱分析を実施した。示差熱分析とは、少量 の試料と基準試料を炉内で温度を一定速度で上 昇させたときの試料間の電力差を測定したもの である。劣化の最も進行していると考えられるA 柱の表面より 0, 200, 670mm の3深度で 50mg



図-3 示差熱分析結果

採取し分析した結果を図-3に示す。図中,起 電力差が 100℃付近で下降しているのは水分の 蒸発,200~400℃での上昇は油成分の燃焼を示 している。同図によると,構造表面付近ではコ ンクリート内の水分がすべて油分に置き換わっ ており,200mm 付近では油と水分が混在してい る,さらに,670mm 付近では油成分がなく,水 分だけであることがわかる。以上より,潤滑油 はコンクリートの表面より200mm までは浸透し ていることが確認された。

3.3 コア強度

採取したコアの連続部分より切出し圧縮強度 を測定した。図-4に、柱ごとの深度と強度の 関係を示す。各グラフの内、番号の若いコアが アンカー基礎柱の中心位置でのコアで、その他 は。中心より外れた位置でのコアである。コン クリート表面の潤滑油は、柱の中心付近に多く 付着しており、特にA柱は、上部に油圧機器が あり他柱より油の付着が多い状態となっている。 柱によるばらつきがあるが、全体に強度が小さ い結果となっている。特にA柱では、構造表面付 近では 20N/mm²以上ではあるが, 深部になると 15N/mm²以下となっている。A柱は、4本の柱の 中で潤滑油との接触が最も多く、かつ、最もひ び割れが多く発生しており、劣化が他の柱より 進行していることが想像される。また、A柱は コンクリート表面に油の不揮発成分がコールタ





ール状に付着しており,これが表面の圧縮強度 が高いことと関連している可能性がある。Bおよ びC柱は強度の小さい部分と大きい部分が混在 するような結果となった。D柱は1本しかコアを 採取できなかったが 15N/mm²程度の強度と見ら れる。建設当時の資料が逸散しており正確な設 計強度は不明であるが,当時は通常 18N/mm²の コンクリートを使用していたことより,本基礎 も同程度の設計強度であったと想像される。設 計強度を 18N/mm²と仮定すると,ほとんどの圧 縮強度が設計強度以下であり,打設後 30 年以上 経過したコンクリートであることを考慮しても 全体に強度が低くなっているといえる。

4. 強度推定

コアの圧縮強度が、平均 15N/mm²と小さい値 となっているが、劣化後の強度であり、劣化前 の強度を把握しておく必要がある。施工時の資 料は逸散しており確認できないため、単位体積 質量および配合推定より劣化前のコンクリート 強度を推定する。





4.1 単位容積質量よりの推定

単位容積質量と強度は一般に比例関係がある といわれている。清水らは²⁾,既存鉄筋コンクリ ート造建築物から採取した 5,737 個のコアを分 析し、単位容積質量 γ と圧縮強度 σ_B の関係に関 して、図-5 に示す関係があり、ばらつきは大き いが回帰式を求めると次式になると述べている。

$\sigma_B=32 \gamma - 46$

A柱の劣化した部分より採取したコアの3箇 所で単位容積質量を計測しており、その値は 2.07,2.05,2.01 × 10^2 kg/m³ であった 図 5 つかど

た。**図-5**での単 位容積質量の小 さい部類に属す ることが分かる。

4.2 配合推定試験

コンクリートの配合を推定するために,硬化 コンクリートの配合推定試験を実施した。試料 は A 柱の非劣化部より採取したコンクリートを 用い、試験はセメント協会の硬化コンクリート の配合推定法によった。今回の場合、使用した セメント、骨材を特定できないため、標準的な セメント,骨材を使用しているとして試験を行 った。試験結果より,セメント量,骨材量,結 合水量の配合推定値はそれぞれ, 12.2, 83.8, 4.0% となり、これより推定される単位量は**表-1**と なる。水セメント比は 212/258=82%となる。油 の浸透および高温乾燥状態に曝されていたコン クリートの試験結果であり数値的な信頼性は少 ないが,通常の W/C=50~65%に比べると高い数 字であり、本来のコンクリート強度も小さかっ た可能性があると考えられる。

5. 劣化のメカニズム推定

対象とするコンクリートのコアに対して試験 より、本コンクリートは元々、通常のコンクリ ートより強度が小さいと推定される。しかしな がら、コアの状態、圧縮強度が極端に少ないな ど、これだけでは説明できない現象が現れてお り、これらの現象は、コンクリート内に潤滑油 が浸透したことによる劣化現象であると考えら れる。なお、同基礎の油に曝されていない部位 でのコア試験より、中性化およびアルカリ骨材 反応は発生していないことは確認している。

潤滑油による劣化のステップとして次のよう に考えられる。

- (1) 潤滑油のコンクリート内への浸透
- (2) 浸透した潤滑油によるコンクリートの 破壊

表-1 単位量推定値

	吸水率	水量	表乾単位容積質量	各材料の単位量(kg/m ³)		
	(%)	(%)	(kg/m^3)	セメント	骨材	水
	7.3	10.5	2270	258	1800	212
村) 骨材の吸水率を15%と仮定した場合の単位量の推定値						

以下,各項目に関する検討を行う。

5.1 潤滑油のコンクリート内への浸透

コア調査によると、数10cmの深さまで潤滑油 が浸透している箇所があることが確認されてい る。このように深くまで浸透した理由として以 下のように考えられる。

(1) ポーラスなコンクリート

コアの単位容積質量試験および配合推定試験 結果より、本コンクリートは水セメント比が高 かったと推定され、ポーラスなコンクリートで あったと推定される。

(2) プレス機基礎の環境

鍛造設備であるため周辺環境が絶えず 40~ 50℃という高温になっている。そのため、コン クリート内の自由水が蒸発し、コンクリート内 に負圧(吸水する圧力)が発生していたと考え られる。

(3) 基礎に作用する応力

今回の対象となった基礎に設置されているプ レス機は 2,000tf クラスの圧縮能力を有する設備 で、動的な衝撃力は 3,000kN 程度になると言わ れている。これらの衝撃力がアンカーボルトを 通じて、基礎コンクリートに伝わっていること になる。コンクリートに作用する応力を FEM 解 析により求めると、-4.3~1.4N/mm の変動応力と なる。これらの応力により、コンクリート表面 にひび割れが発生したものと考えられる。前述 した**写真-2**のひび割れが水平および鉛直方向 に発生しているのは、これらの原因が乾燥収縮 によるひび割れでなく、プレス機による鉛直方 向の荷重によることを示している。

5.2 浸透した潤滑油によるコンクリートの破壊

コンクリート内に浸透した油は,以下の作用 で劣化を進行させるものと考えられる。

(1) 非圧縮性流体としての作用

コンクリート内浸透した油は,コンクリート 内の微細な空隙内に滞留するものと考えられる。 この状態でコンクリートに圧縮応力を受けた場 合,空であれば体積が減少するはずのところを, 非圧縮性の油により周囲のマトリックスを破壊 してゆくものと考えられる。この現象は,水中 コンクリートは疲労の進行が早い³⁾と言われて いるが,メカニズム的には同じ現象であると言 える。

(2) 潤滑材としての作用

ひび割れや空隙等に浸入した油は,ひび割れ 内の潤滑油となり,ひび割れの摩擦抵抗力を減 少させるものと考えられる。ひび割れ部の負担 が小さくなる分,他の部位への負担が大きくな り,ひび割れ等を進行させることになると考え られる。

著者らが、コンクリート表面をグラインダー で研磨したところ骨材の周囲から油が染み出す 現象を確認している。これは、骨材とモルタル の間に浸入した油が、骨材とモルタルの結合を 徐々に破壊した状態を示しているものと考えら れる。

6. 結論

油圧プレス機のコンクリート基礎が潤滑油に 曝されており,それによる劣化現象を確認し, 採取したコアの分析により,鉱物油である潤滑 油によるコンクリートの劣化のメカニズムを推 定した。その結果,以下の状態にある場合,コ ンクリートの劣化が進行するものと考えられる。

- (1) 潤滑油に絶えず曝されている。
- (2) コンクリートが潤滑油を浸入しやすい 状態である。たとえば、ポーラスなコン クリート、高温に曝されておりコンクリ ート内の水分が蒸発している状態。
- (3) 繰返し応力を受けているコンクリート

以上のような条件のコンクリート部材は,装 置産業の基礎では数多くあり,劣化が進行して いる部材も多々あるものと考えられる。今まで, このような事例が報告されなかったのは,劣化 したコンクリートの原因究明をされずに補修が 行われてきたのではないかと考えられる。本件 でも補修範囲確認のための調査が発端で,通常 では考えられない劣化であるために詳しい調査 を実施した次第である。

今後は,潤滑油による劣化メカニズムの推定 の検証およびその対策を検討してゆきたいと考 える。

参考文献

- 岸谷孝一,西澤紀昭他編:コンクリート構造 物の耐久性シリーズ 化学的腐食,pp.28-32, 1986
- 清水秦ほか:既存鉄筋コンクリート造建築物のコンクリート強度に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp.803-804,2001.9
- 松下博通:水中におけるコンクリートの圧縮 疲労強度に関する研究,土木学会論文報告集, 第 296 号, pp.87-95, 1980