

論文

[1048] 真空処理コンクリートの水中疲労強度

正会員 ○菅田 紀之 (室蘭工業大学工学部)

正会員 尾崎 詔 (室蘭工業大学工学部)

細川 潮 (専修大学北海道短期大学)

Darwin M. Rosales (室蘭工業大学大学院)

1. まえがき

コンクリートは静的強度以下の荷重であっても、繰返し载荷を受けると破壊にいたる。このような現象を疲労あるいは疲労破壊とよぶが、コンクリートが水で飽和しているときあるいは水中にあるときの圧縮疲労強度が、大気中での気乾のときのものとは比べて著しく低下することが、幾つかの研究によって明らかにされている¹⁾²⁾。また水中においても、混和材の使用の有無および練混ぜ方法などによって、その疲労性状の異なることが明らかにされている³⁾⁴⁾。

海洋コンクリート構造物や河川コンクリート構造物は水面下にあるか、たえず湿潤状態になっていることが多く、橋梁や道路などの鉄筋コンクリートおよびコンクリート床版では雨水などにより湿潤状態になっていることがある。近年そのような構造物の設計に限界状態設計法が採用されるようになってきているため、コンクリートの水中での疲労性状あるいは疲労強度の改善方法を示し、これを設計に反映させる必要がある。

そこで本研究では、真空処理コンクリートについて水中で圧縮疲労試験を行い、その寿命分布をもとめ、体積歪、ヒステリシスループの面積を水中および空気中における気乾状態での普通コンクリートの圧縮疲労試験結果と比較し検討を行っている。

2. 実験概要

(1) コンクリートの使用材料と配合

実験に用いたコンクリートはレデーミクストコンクリートで、セメントには普通ポルトランドセメント（比重3.15）を、細骨材には北海道登別市で産出される陸砂（表乾比重2.68）を、粗骨材には北海道白老郡白老町敷生川産の碎石（表乾比重2.68、最大寸法20mm）を用い、混和剤にはAE減水剤を使用したものである。コンクリートの配合は表-1に示すとおりである。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 (g)
20	48.5	41.5	149	307	783	1104	768

(2) コンクリートの真空処理

真空処理は、コンクリート打込み後バイブレーターを用い締固め、図-1に示すようにフレッシュコンクリートの表面を空間保持構造になっているフィルタークロスとサクシヨンマットでおおい、そのサクシヨンマットよりでていたホースを水分離槽に接続し、真空ポンプにより空間部分を減圧することにより行われる。

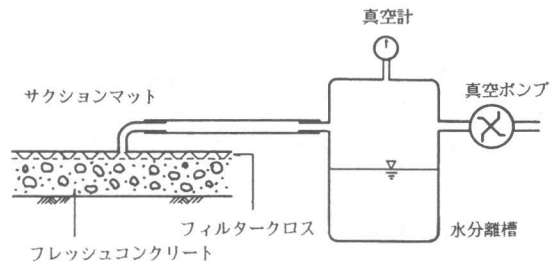


図-1 真空処理システム

この空間と大気圧の差に等しい圧力がサクシオンマットの上面に作用しフレッシュコンクリートが押し固められることにより、内部の水分および空気が上昇し、フィルタークロスを通りサクシオンマットの下の空間に入り、ホースを通じて水分離槽中に吸引され、脱水と脱気が同時に行われる。

真空処理により、水セメント比が減少し空隙が減少することにより、骨材界面での付着強度が増加し、水密性が向上することが期待できる。

本実験では、コンクリートを屋外の地面上に厚さ28cmで面積9.50m² (3.80m×2.50m) の床版として打設し、真空処理をその床版のうち、面積4.75m² (3.80m×1.25m) の部分について行った。

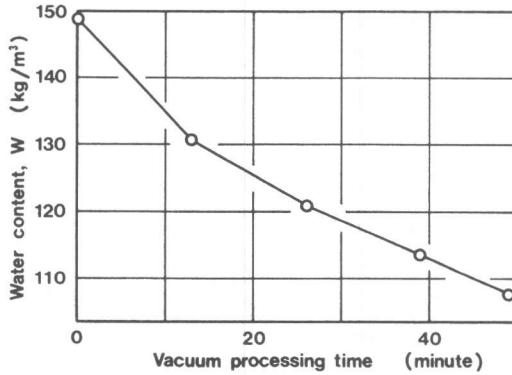


図-2 真空処理による単位水量の変化

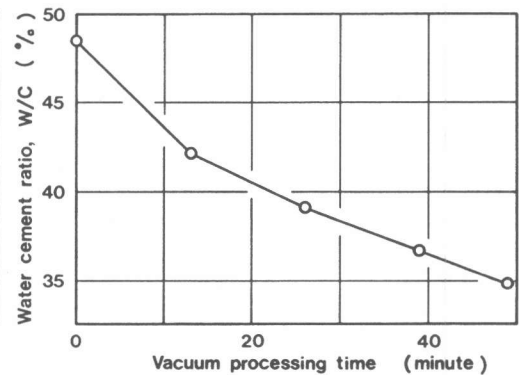


図-3 真空処理による水セメント比の変化

(3) 養生と供試体

養生はコンクリート床版の表面が乾燥しないように、表面に水を張ることによって行った。

供試体には材令が69日から91日の間にダイヤモンドコア cutterにより床版から抜取ったコアを、ダイヤモンド cutterによって上下面をカットし、φ10×20cmに整形したものをを用いた。整形後も屋外の水槽(水温0~5℃)において養生を行い、材

令 107日からは屋内の水槽(水温15℃)に移し養生を行い、供試体によって養生条件が変わらないように注意した。

(4) 疲労試験

疲労試験は、内径31cm、高さ29cmの透明な水槽内で電気油圧サーボ式の30t疲労試験機により行った。繰返し荷重は5

Before processing After processing

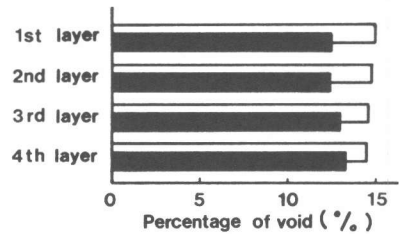


図-4 真空処理による空隙率の変化

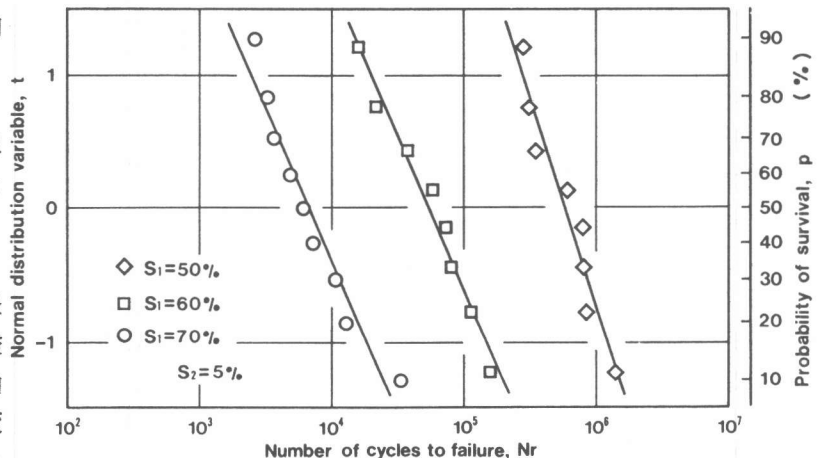


図-5 真空処理コンクリートのp-N線図

～ 8Hzの正弦荷重とし、上限応力比 S_1 を50%、60%、70%の3段階に設定し、下限応力比 S_2 は5%に固定して試験を行った。繰返し荷重は供試体が破壊するまで連続して載荷し、破壊までの繰返し回数を測定した。供試体には、あらかじめストレーンゲージを縦方向および横方向それぞれ対称に2枚づつ接着し実験をおこない、歪の測定にはシグナルコンディショナー、A/D変換機およびパソコンを用いた。

3. 結果と考察

(1) 真空処理

真空処理は49分行った。単位水量は、図-2に示すように149kg/m³から107kg/m³に減少し、水セメント比は、図-3に示すように48.5%から34.8%に減少している。図-4は真空処理コンクリートの空隙率を吸水率より求めた結果である。床版の表面から下へ5cmごとに1層目から4層目までに分けて示してある。真空

処理前には、1層目の空隙が15.0%、4層目で14.5%と下のほうが小さくなっているが、真空処理を行うと1層目で12.5%、4層目で13.0%と全体として空隙が約2%少なくなり密実なコンクリートになっている。特に上層部においてその効果が著しい。

(2) 疲労強度

疲労試験に先立ち行った材令114日での静的基準強度試験の結果は、平均すると416kgf/cm²である。

疲労寿命は同一の繰返し応力においても大きくばらつき、疲労試験結果を統計的に処理する必要がある。繰返し応力比ごとの供試体の生存確率の期待値 p は、同一条件の供試体の総数を n 、疲労寿命 N_r が小さい方から数えて r 番目とすると $p=1-r/(n+1)$ で表される。また疲労寿命分布

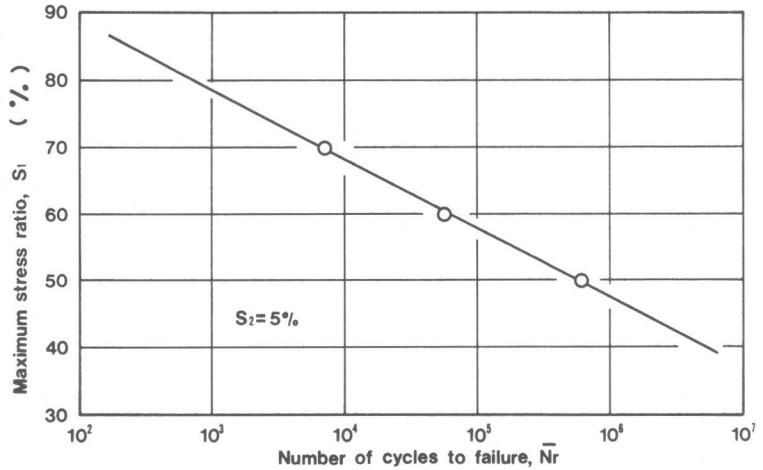


図-6 真空処理コンクリートのS-N線図

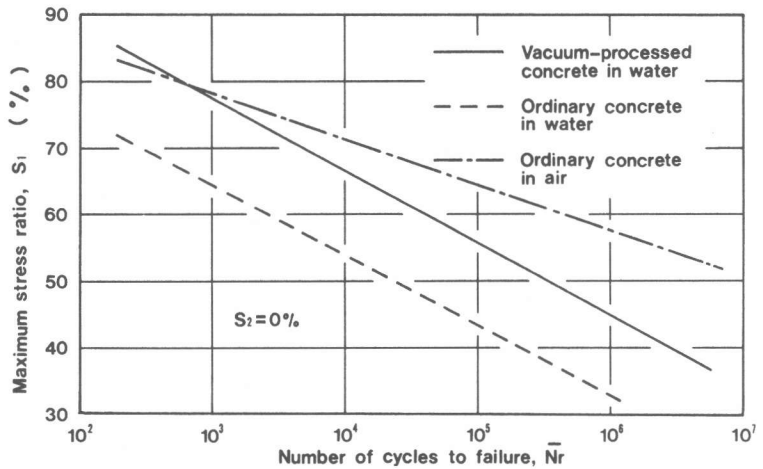


図-7 各種コンクリートのS-N線図

表-2 S-N線図の回帰式 ($S_2 = 0\%$)

	回 帰 式	200万回疲労強度(%)
真空処理コンクリート(水中)	$S_1 = 110.0 - 10.9 \log \bar{N}_r$	41
普通コンクリート(水中) ²⁾	$S_1 = 95.8 - 10.5 \log \bar{N}_r$	30
普通コンクリート(大気中) ²⁾	$S_1 = 98.4 - 6.8 \log \bar{N}_r$	56

は対数正規分布に適合する⁵⁾ので、各応力段階での疲労寿命と生存確率の関係は図-5のようになる。図中の直線は疲労寿命と正規確率変数を直線回帰したものである。

図-6は生存確率50%での疲労寿命と上限応力比の関係を示したもので、下限応力比は5%である。図より200万回の疲労強度を求めると静的強度の44%となる。

図-7は各上限応力比を修正グッドマン線図を用いて下限応力比を0%の場合に修正した図であり、回帰式は表-2のようになる。普通コンクリートの水中および大気中の結果²⁾もあわせて示してある。水中での真空処理コンクリートの200万回疲労強度は、普通コンクリートの水中での値30%に比べると41%と改善されているが、大気中の値56%に比べると小さい値になっている。

(3) 体積歪

図-8は真空処理コンクリートの体積歪の変化を示したものである。一定の収縮歪を保っていたものが破壊直前に急激に膨張し破壊することを、グラフの急激な立ち上がりが見せている。図-9および10は普通コンク

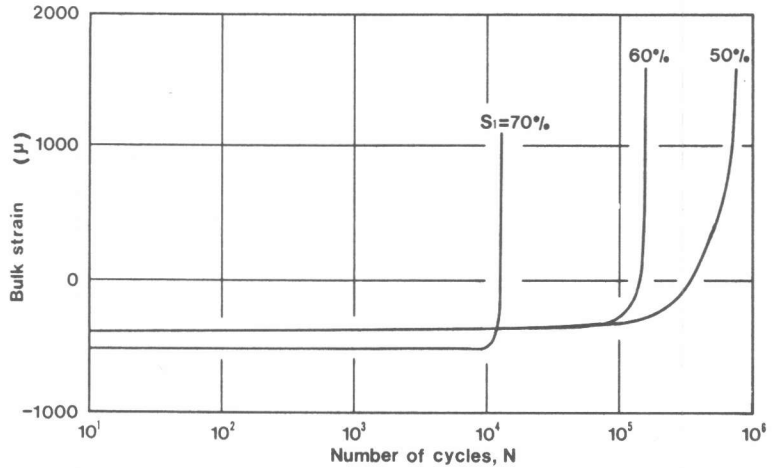


図-8 真空処理コンクリートの体積歪

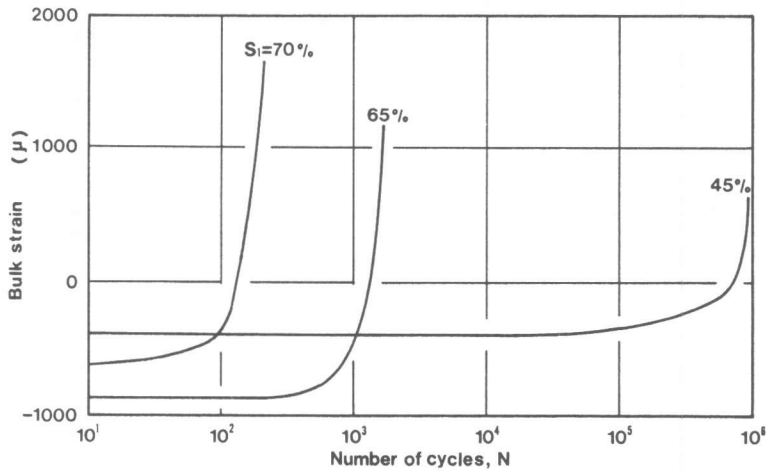


図-9 水中での普通コンクリートの体積歪

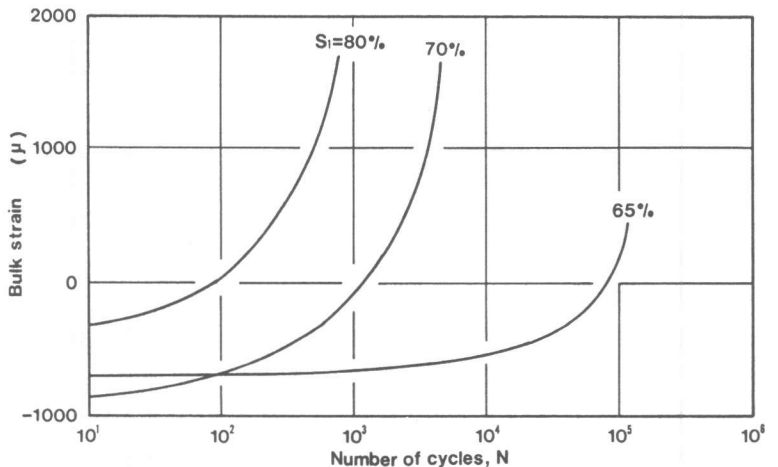


図-10 大気中の普通コンクリートの体積歪

リートの水中と大気中での結果である。大気中では体積歪が収縮側から徐々に膨張側に移行し破壊しているのに対して、水中では収縮側から急激に膨張側になり破壊している。

真空処理コンクリートにおいて、疲労寿命が伸びたにもかかわらず、破壊直前に急激に膨張する水中疲労特有の挙動は普通コンクリートの水中と同じである。これは骨材界面における付着の改善や水密性の向上により、ひび割れの発生が抑制されて疲労強度が伸びても、急激な破壊につながるひび割れの拡大が水的作用によって起るためであるものと思われる。

(4) ヒステリシスループ
コンクリートの応力-歪曲線は荷重の載荷時と除荷時では違う経路をたどりヒステリシスループを描く。

図-11は真空処理コンクリートの圧縮歪のヒステリシスループの面積を、初回の面積に対する比で示したものである。2回目の繰返しから0.3~0.5に減少し一定の値を保ち、破壊直前に増加している。図-12および13は普通コンクリ

ートの水中と大気中での結果である。水中では面積の減少はあまり見られず、破壊直前に初回の面積よりも大きくなっている。大気中では0.2~0.4程度まで減少し一定の値を保ち破壊前に増加している。

真空処理コンクリートのヒステリシスループの面積は、普通コンクリートの大気中のものと似た挙動を示している。これは骨材界面の強化による改善効果のためであるものと思われる。

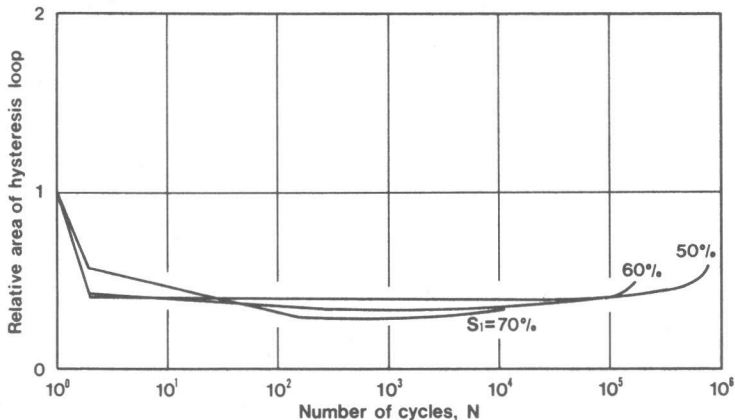


図-11 真空処理コンクリートのヒステリシスループの面積

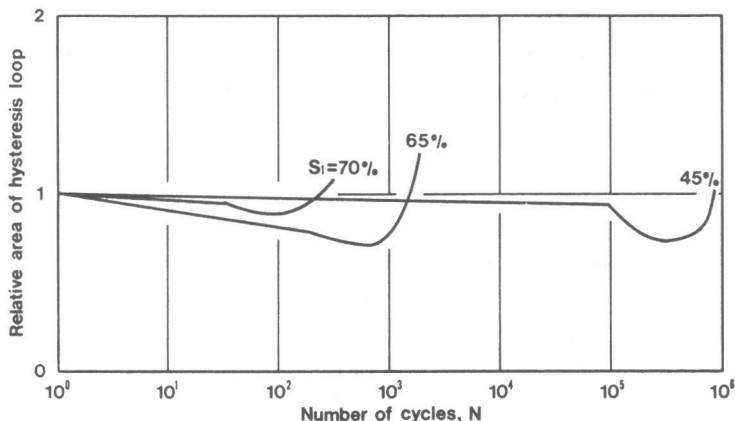


図-12 水中での普通コンクリートのヒステリシスループの面積

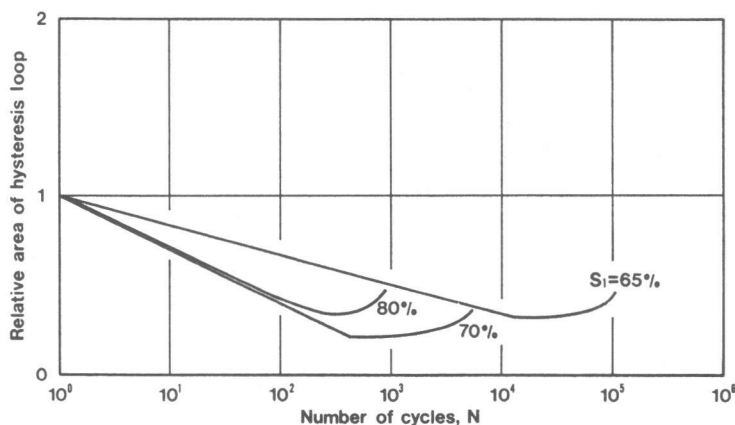


図-13 大気中での普通コンクリートのヒステリシスループの面積

4. まとめ

修正グッドマン線図により完全片振りに換算した、普通コンクリートの200万回疲労強度は、大気中で静的強度の56%あったのに対し、水中で30%に低下したが、真空処理コンクリートでは静的強度の41%に改善された。

真空処理による骨材界面での付着の改善と水密性の向上による疲労強度の改善効果が、歪およびヒステリシスループの挙動から知ることができる。しかし水中疲労特有の破壊直前でのひび割れの拡大は抑えることができず、水の作用は大きなものであることがわかる。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 尾崎 諷、志村政雄：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度、土木学会第35回年次学術講演会講演概要集、pp. 293~294、1980.
- 3) 鈴木 崇、尾崎 諷：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度の改善について、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集、pp. 241~242、1985.
- 4) 尾崎 諷、菅田紀之、渡辺洋一：シリカフェームを用いたコンクリートの水中疲労について、コンクリート工学年次論文報告集、第9巻、第1号、pp. 75~80、1987.
- 5) 松下博通、徳光善治：生存確率を考慮した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284号、pp. 127~138、1979.