

V-16

自然条件下に35年間曝露したコンクリートの耐凍害性

北海道電力(株) 正員 荻原 淳平

北海道電力(株) 正員 小野寺 収

北電興業(株) 正員 齋藤 敏樹

1. まえがき

寒冷地にあるダムコンクリートの気象作用に対する耐久性とコンクリート供試体による耐久性試験結果との関連性を明らかにすることを目的に、昭和 37 年、(社)日本大ダム会議コンクリート凍結実験研究分科会からの協力要請を受けて当社奥新冠ダムに曝露供試体を設置し、以来毎年非破壊測定を実施している。^{1)、2)、3)}

本報告は、奥新冠ダムに設置したコンクリートブロック(1m×1m×1m)および小型供試体(φ15cm×30cm、10cm×7.5cm×40cm)を対象とした曝露試験において、35年経過した時点までの経年変化状況について述べるとともに現地測定結果と室内耐久性試験結果とを比較したものである。

2. 試験場所および曝露供試体設置位置

奥新冠ダムは、当社で唯一のアーチ式ダムであり、位置図を図-1に示す。

曝露供試体は、奥新冠ダム右岸上流の取水口付近に設置されている(写真-1)。供試体設置場所の断面図およびダム付近平面図を図-2(a)、図-2(b)に示す。コンクリートブロックは、図-2(a)に示すように貯水池の水位変化により冠水する頻度が少ない箇所(EL722.3m:上段)と、比較的冠水頻度の多い箇所(EL720.0m:下段)に各々4個設置している。なお、小型供試体は上段のみに設置しており、満水時には、上段のコンクリートブロックは70%浸水し、下段のコンクリートブロックおよび小型供試体は水没する位置関係にある。



図-1 ダム位置図

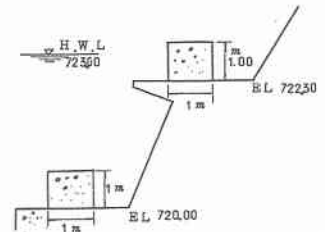


図-2(a) ブロック設置断面図

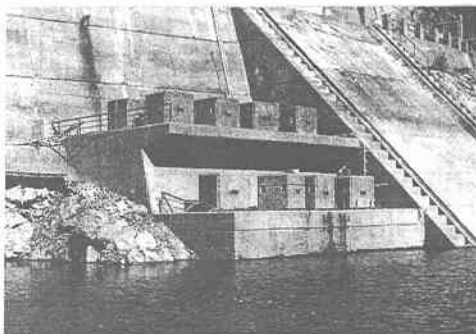


図-2(b) ダム付近平面図

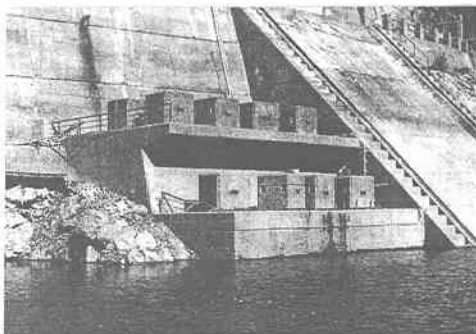
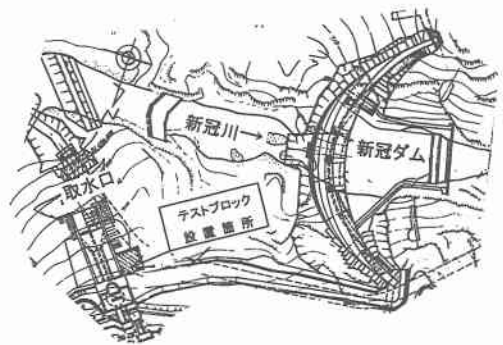


写真-1 コンクリートブロック設置状況



Frost Resistance of Concrete Exposed under Natural Environment during 35 Years
by Junpei OGIHARA, Osamu ONODERA and Toshiki SAITO

3. 供試体の作製

曝露供試体のコンクリ

ート配合は、表-1³⁾に示

す4配合である。配合は、奥新冠ダム本体の配合(A)

のほか、ダム本体の配合を

基本として、水セメント比

を変化させたもの(B)、

AE剤無添加(C)および

フライアッシュを混入した

もの(D)であり、配合の

表-1 供試体のコンクリート配合および製造方法

コンクリートの配合											コンクリートブロックの製造					小型供試体の製造
配合番号	骨資材 最大寸法	W	C/F	W C/F	F C/F	s/a	減水剤	AE剤	スランプ	空気量	製 造 年 月 日	養生 方 法	打込み 方 法	保 固 方 法	養生方法	
	mm	kg	kg	%	%	%	g/m ³	g/m ³	cm	%						
A-1	100	105	245	43	0	26	530	2.4	2.2	5.3	9.19	プラント設 備(日本産)	型枠近くま で台車で運 搬し、スコ ップで投 機1台にて サ)によっ た。	3層に分け、 #50mm空気 式内部振動 機1台にて 締め固め た。	打込み後72 時間散水養 生、以後48 時間シーボ ルトを設め た。	圧縮強度試験用 供試体 #15×30cm、40mm ウェットスクリ ン
A-2		105	245	43	0	26	530	2.4	2.2	5.7	9.19	機0.75m ² 以 上				
B-1		103	195	53	0	29	480	1.8	0.6	3.8	9.25					
B-2		107	201	53	0	29	503	2.0	2.2	4.9	9.25					
C-1		114	265	43	0	29	—	—	2.5	2.0	10.5					
C-2		114	265	43	0	29	—	—	2.6	2.0	10.5					
D-1		110	256	43	20	26	400	1.4	2.5	5.3	9.30					
D-2		110	256	43	20	26	400	3.4	2.3	6.0	9.30					

違いが耐凍害性に与える影響を検討するために選定したものである。表中の小型供試体は、コンクリートブロック製造時のコンクリートをウェットスクリーニングして作製した。供試体の製造に使用した各材料の諸元を表-2に示す。ただし、D配合のセメントは普通ポルトランドセメント、それ以外の配合は中熱ポルトランドセメントを使用している。製造した供試体の種類と測定項目および製造後の養生条件を表-3に示す。

表-2 使用材料の諸元

使用材料名	物性値または主成分
セメント	N社製中熱ポルトランドセメント (比重3.20、ブレン比表面積3030cm ² /g) N社製普通ポルトランドセメント (比重3.16、ブレン比表面積3050cm ² /g)
フライアッシュ	当社滝川火力発電所産(比重2.13、 ブレン比表面積3750cm ² /g、強熱減量1.2%)
細骨材	ダム湛水区域内産 (比重2.86、吸水率2.0%、粗粒率2.75)
粗骨材	ダム湛水区域内産 (比重2.93、吸水率0.9%、粗粒率9.20)
混和剤	N社製減水剤(リグニンスルホン酸化合物) N社製AE剤(炭性ロジン酸化合物系 陰イオン界面活性剤)

表-3 供試体の種類と測定項目および養生条件

種類	設置位置	養生条件	測定項目	現存数量
コンクリートブロック 1.0×1.0×1.0 m	上段 A2、B2 C2、D2	自然	動弾性係数	4配合×2個 =8個
	下段 A1、B1 C1、D1	自然	動弾性係数	4配合×2本 =8本
小型供試体 (凍結融解試験用供試体) □7.5×10×40 cm	上段	自然	凍結融解試験による動弾性係数及び質量	—
小型供試体 (圧縮強度試験用供試体) φ15×30 cm	上段	自然	動弾性係数	4配合×3本 =12本
	—	標準	圧縮強度	—

※標準：20℃水中養生

4. 気象および貯水池水位

最近 15～18 ヶ年の曝露地点近傍観測所(新冠ダム)における旬平均の気象(外気温、積雪深)を図-3(a)、図-3(b)に、また曝露地点の貯水池水位を図-3(c)に示す。

図-3(a)は、日最高気温および日最低気温の旬平均値を18ヶ年平均したものである。図-3(b)は、旬平均積雪深の15ヶ年最大値、平均値および最小値を示している。また図-3(c)は、貯水池水位の旬最高値、旬平均値および旬最低値を17ヶ年平均したものである。

これらのデータによれば、2月下旬から4月中旬までと11月中旬から12月中旬までの合わせて約2ヶ月間には、ほぼ日最高気温が0℃以上かつ日最低気温が氷点下となり、旬平均日最低気温の最低値は、約-15℃となっている。旬平均積雪深は、多い年で2mを超えているが、平年的には、コンクリートブ

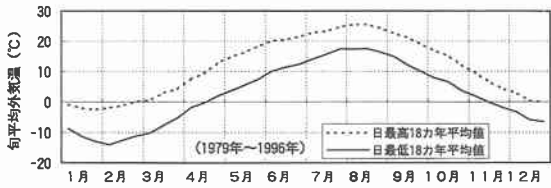


図-3(a) 旬平均外気温の旬別累年値

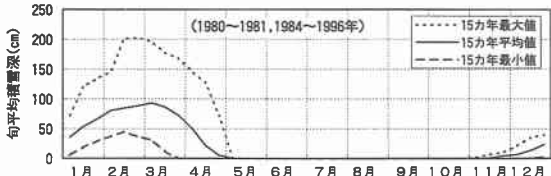


図-3(b) 旬平均積雪深の旬別累年値

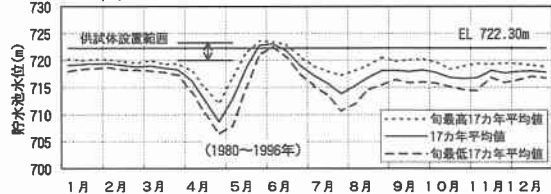


図-3(c) 貯水池水位の旬別累年値

ックが完全に雪に覆われる期間（積雪深 1m 以上）は、無いものと考えられる。ただし奥新冠ダムは、新冠ダムより標高で約 330m 高い位置にあり、気温はさらに低く積雪は多い可能性がある。貯水池水位は、凍結融解が生じると考えられる約 2 ヶ月（2 月下旬～4 月中旬、11 月中旬～12 月中旬）の期間中、供試体の設置範囲（EL720.0～723.3m）より低下しており、平年的には供試体がほぼ露出状態にあると考えられる。

5. 曝露試験結果

5-1 経年変化測定項目

現地に設置したコンクリートブロックおよび小型供試体の経年変化測定項目を表-4に示す。

動弾性係数の測定方法は、表-4に示すとおり超音波法および共鳴振動法を用いている。さらに共鳴振動法は、供試体の種類により振動の与え方（縦振動、たわみ振動）を変えて測定を行っている。一般的に、圧縮強度の推定には、超音波法および縦振動による

表-4 曝露供試体の経年変化測定項目

測定項目	供試体種類	測定方法及び測定頻度
動弾性係数	コンクリートブロック 1×1 m	測定頻度：1回/年(1988年まで2回/年) 測定方法：PUNDITによる超音波縦波伝播速度 (上下流・左右岸面間18測線)
	小型供試体 □7.5×10×40cm	測定頻度：1回/年(1988年まで2回/年) 測定方法1：PUNDITによる超音波縦波伝播速度 (供試体長さ方向1測線) 測定方法2：JIS A 1127に準拠し、ウルトラソニックによる 一次固有振動数（たわみ振動）
	小型供試体 φ15×30cm	測定頻度：1回/年(1988年まで2回/年) 測定方法1：PUNDITによる超音波縦波伝播速度 (供試体長さ方向1測線) 測定方法2：JIS A 1127に準拠し、ウルトラソニックによる 一次固有振動数（縦振動）
質 量	小型供試体 □7.5×10×40cm 及びφ15×30cm	測定頻度：1回/年(1988年まで2回/年) 測定方法：台秤による

共鳴振動法を用い、それに対し、供試体の平均的品質（凍結融解などによる耐久性）を知る場合には、たわみ振動による共鳴振動法が用いられる⁴⁾。本試験では、圧縮強度の経年変化を推定するため、圧縮強度試験用供試体に関して超音波法および縦振動による共鳴振動法を用いている。一方、凍結融解試験用供試体は、凍結融解試験と同じ測定方法であるたわみ振動による共鳴振動法を用い、コンクリートブロックの超音波法との関連性を検討するため、超音波法によっても測定を行っている。なお経年変化の基準値は、供試体材齢約1年の測定値としている。

5-2 コンクリートブロックの劣化状況

コンクリートブロックの相対動弾性係数の経年変化を図-4(a)、図-4(b)に示す。いずれのコンクリートブロックも曝露開始から35年経過後、相対動弾性係数は、100%以上を保っており劣化傾向は、見られない。また、配合の違いおよび設置位置の違いによる相対動弾性係数の差異は見られない。

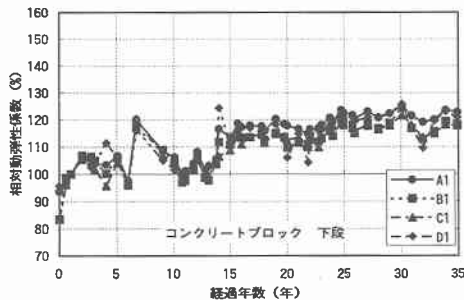


図-4(a) 相対動弾性係数の経年変化（下段）

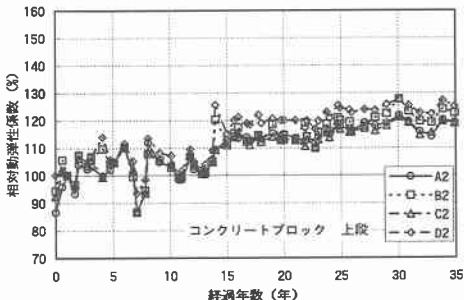


図-4(b) 相対動弾性係数の経年変化（上段）

一例として、ダム配合本体（A配合）およびA/E剤無混入のため最も凍害劣化が予想されるC配合のコンクリートブロックの35年経過後の外観写真を写真-2(a)、写真-2(b)に示す。全ブロックとも、ひび割れは生じておらず、スケーリングも軽度であり健全な様相を呈している。

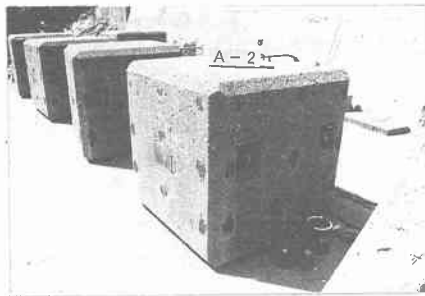


写真-2(a) A配合コンクリートブロックの外観



写真-2(b) C配合コンクリートブロックの外観

5-3 小型供試体の劣化状況

5-3-1 相対動弾性係数の経年変化

小型供試体（凍結融解試験用供試体、圧縮強度試験用供試体）の相対動弾性係数の経年変化を図-5(a)、図-5(b)、図-6(a)、図-6(b)に示す。(a)図が超音波法、(b)図が共鳴振動法による測定結果である。いずれの結果からも配合の違いによる相対動弾性係数の差異は見られず、相対動弾性係数は、100%以上を保持しており劣化傾向は、見られない。

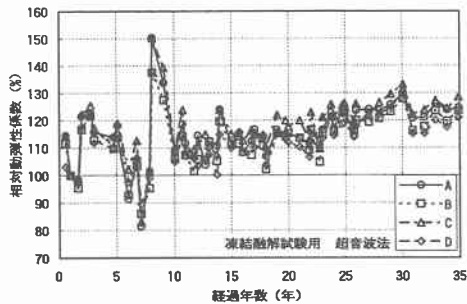


図-5(a) 凍結融解試験用供試体の相対動弾性係数の経年変化(超音波法)

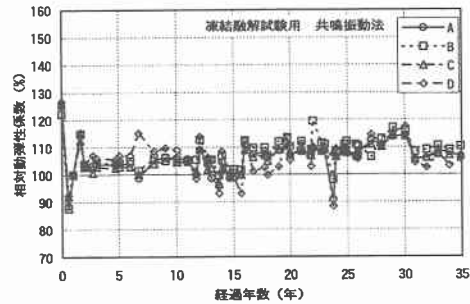


図-5(b) 凍結融解試験用供試体の相対動弾性係数の経年変化(共鳴振動法)

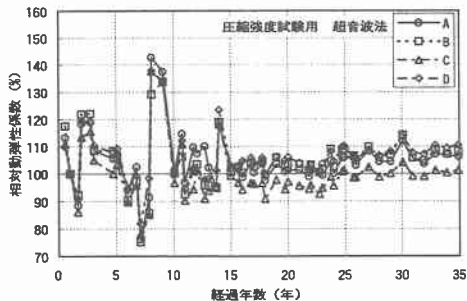


図-6(a) 圧縮強度試験用供試体の相対動弾性係数の経年変化(超音波法)

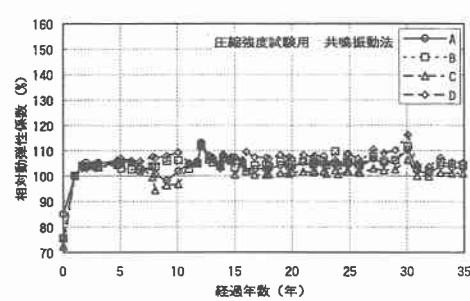


図-6(b) 圧縮強度試験用供試体の相対動弾性係数の経年変化(共鳴振動法)

超音波法と共鳴振動法の測定結果の違いについて、凍結融解試験用供試体は、どの配合も超音波法の方が相対動弾性係数が約10~20%大きい値を示しているのに対し、圧縮強度試験用供試体では、各配合とも測定方法の違いによる顕著な差は見られない。これは、測定原理の違いによるものと考えられる。共鳴振動法は、供試体全体に振動を与え、1次固有振動数を測定して動弾性係数を算出している。これに対し超音波法は、コンクリート内部を伝播する超音波速度から動弾性係数を算出している。たわみ振動による共鳴振動法では、供試体表面部の変化を含めた供試体全体の動弾性係数を表現できるのに対し、超音波法および縦振動による共鳴振動法は、表面変化の影響が反映されにくい⁴⁾ことが測定結果に表れたものと考えられる。

5-3-2 質量百分率の経年変化

小型供試体の質量百分率の経年変化を図-7(a)、図-7(b)に示す。凍結融解用および圧縮強度試験用供試体ともに配合の違いに関わらず、質量は、ほとんど変化していない。

小型供試体の35年経過後の外観写真を写真-3(a)、写真-3(b)に示す。全ての配合の供試体において、軽度のスケーリングは見られるが、角が明瞭でありコンクリートブロックと同様に健全な様相を呈していると考えられる。

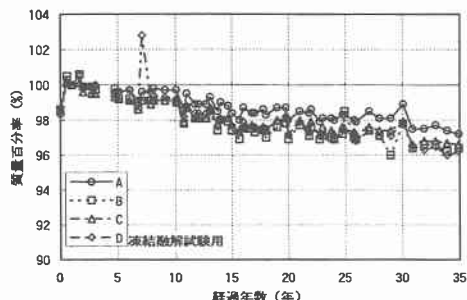


図-7(a) 質量百分率経年変化（凍結融解試験用）

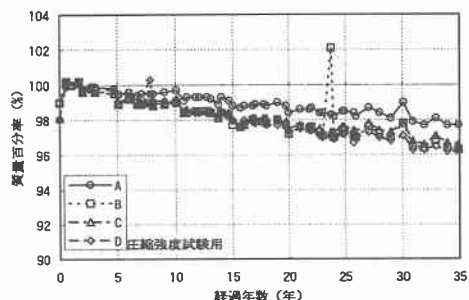


図-7(b) 質量百分率経年変化（圧縮強度試験用）



写真-3(a) 凍結融解試験用供試体の外観



写真-3(b) 圧縮強度試験用供試体の外観

6. 室内試験結果

6-1 強度試験

図-8³⁾に各配合における強度試験結果を示す。試験は、自然条件下で現地養生した場合と20℃の水中で標準養生した場合について、材齢28日、91日、1年で実施した。ダム本体のA配合は、目標強度350kgf/cm²（材齢91日）となるように配合設計されているもので、図中の現地養生での強度は、これを満たしている。全ての配合において、現場養生よりも標準養生の方が強度が大きい、材齢が増すごとにそれらの強度差は、小さくなっている。標準養生した場合において、A配合の強度を他の配合ケースの強度と比較すると、B配合については、水セ

メント比が大きいため強度が小さく、C配合については、同じ水セメント比でも空気量が小さいため強度が大きく、D配合は、同じ水セメント比でも初期材齢の強度

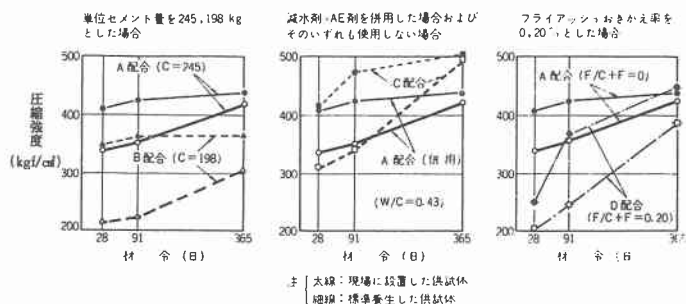


図-8 現場養生および標準養生した供試体の圧縮強度試験結果

は小さいが、フライアッシュのポズラン反応により長期材齢での強度発現が大きくなっている。また、現場養生での強度についても、標準養生と同様の傾向を示している。

6-2 凍結融解試験

各配合における凍結融解試験（ASTM C 290-T に準拠）結果を図-9に示す。試験開始材齢は、約91日（86～102日）である。C配合を除く配合（空気が3.8～6.0%）については、配合の違いによる耐久性の差異は見られず、耐久性指数が80%以上であり、耐凍害性に優れている。一方、C配合は、空気が他の配合と比較して2%と少なく、20サイクルで相対動弾性係数が50%を下回っている。

以上の結果は、現地測定結果と整合していない。即ち、室内試験で明らかに耐凍害性が低いと考えられたC配合の

曝露供試体が、設置後35年を経た現在も健全な状態を保っている。これは、凍結融解試験の条件が、現地の気象条件と比較してかなり過酷であり、現地では35年経過後も明確な耐久性の差が表れるまで劣化が進行していないためと考えられる。既往の研究⁵⁾によれば、凍結融解試験において、空気量2～4%は、耐凍害性の遷移領域であり、その空気量を下回ると耐凍害性が損なわれるとされている。しかし今回の試験結果は、北海道の山岳に位置し、水分供給の頻度が多いダムコンクリートでも、凍害に関する気象作用は試験より緩やかであり、空気量が少なくても入念な施工による密実なコンクリートは、長期にわたり耐凍害性を維持可能なことを示唆しているものといえる。

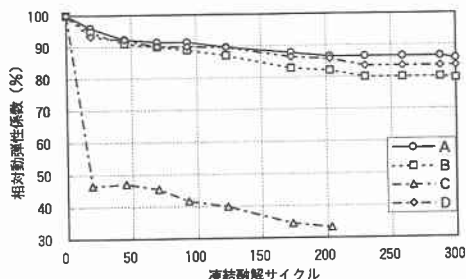


図-9 相対動弾性係数の試験結果

7. まとめ

35年にわたるダムコンクリートの曝露試験結果から得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) コンクリートブロックおよび小型供試体ともに、配合の違いによる相対動弾性係数は、明確な違いがみられず、どの配合においても35年経過後100%以上を保っており品質の低下は認められない。
- 2) コンクリートブロックの設置位置の違いによる相対動弾性係数の変化に明確な違いは認められない。
- 3) コンクリートブロックおよび小型供試体の外観から、どの配合においてもひび割れがなくスケーリングも軽度であり、表面部のコンクリートは、健全な状態を維持していると考えられる。
- 4) AE剤を用いない配合の場合、室内における凍結融解試験では、品質が著しく低下したが、現地曝露供試体（コンクリートブロックおよび小型供試体）の相対動弾性係数は、低下する傾向が見られない。これは、凍結融解試験の試験条件が、現地の気象作用と比べてかなり過酷なことが原因と考えられる。

8. あとがき

奥新冠ダム地点の曝露供試体は、設置後35年を経過した現在も健全な状態を維持しており、室内試験との関連性を確認するために、今後も調査を継続する計画である。

<参考文献>

- 1) コンクリート凍害実験研究分科会：大型コンクリートブロックによるダムコンクリートの耐久性試験中間報告（第一報）、大ダム、第45号、pp1～30、1968年6月
- 2) 同上：大型コンクリートブロックによるダムコンクリートの耐久性試験中間報告（第二報）、大ダム、第76号、pp1～16、1976年6月
- 3) 同上：大型コンクリートブロックによるダムコンクリートの耐久性試験、第28回ダム技術講演討論会テキスト、pp1～28、1996年3月
- 4) 柏忠二：コンクリートの非破壊試験法、富士物産、pp11～52、1981
- 5) Cordon, W.A., D. Merrill : Requirements for Freezing-and-Thawing Durability for Concrete, Proc. ASTM, Vol. 63, 1963, pp. 1026～1036