

持続引張応力下および繰返し引張応力下の 新旧コンクリート打継目の透気性状に関する研究

氏家 勲¹・金澤 英樹²

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町)

²正会員 工修 (株)熊谷組 東関東支店 (〒260-8615 千葉県千葉市中央区栄町42-11)

コンクリート構造物の施工時および補修時に生じる打継目は力学的弱点であるとともに、水・気密性に関しても弱点である。既往の研究では応力の作用していない状態で打継目の水・気密性が検討されている。本研究では打継目の処理方法および処理深さを変えて打継目を有するコンクリートを製作し、持続引張応力および繰返し引張応力が作用した場合の一体型および打継型のコンクリートの透気性状を力学特性とともに調べている。そして、繰返し引張応力の作用によりコンクリートあるいは打継目に生じるひび割れや剥離を欠陥率で表し、コンクリートの透気係数の増加および弾性係数の低下を欠陥率の観点から検討および評価したものである。

Key Words : joint, tightness, permeability, elastic modulus, sustained load, repeated load

1. まえがき

コンクリート構造物の建設が幅広い分野で行われ、それに伴いその使用環境や要求される機能も厳しくなっている。例えば、LNG、LPGなどの液貯蔵タンクでは低温において気密性、液密性が必要とされ¹⁾、放射性廃棄物の処分施設などのような地下コンクリート構造物では長期にわたり耐久性と水密性が維持されなければならない²⁾。コンクリート自体はある程度水・気密性の高い密実な材料ではあるが、コンクリート構造物の密実性はひび割れなどの欠陥により低下する。新旧コンクリートの打継目もまた密実性低下を引き起こす主たる要因の一つである。

新旧コンクリートの打継目はコンクリート構造物の建設時に施工上必然的に設ける場合の他に、劣化した構造物の一部をはずり、部分的な断面補修を行う場合においても生じる。打継目を有するコンクリートの強度は打継目の表面処理方法によっても相違するが、打継目のないコンクリートに比べ、曲げ強度で50～70%、せん断強度で40～80%になることが報告されている³⁾。この理由として新コンクリートからのブリーディング水による接着面積の低下や自己収縮などの体積変化による付着の低下などが考えられているが⁴⁾、このような打継目の力学特性の低下の原因となる弱点は鋼材腐食に関係する劣化因子の浸入に対しても弱点となる。例えば補修部の耐久性

を評価する場合には補修材の品質に加えて打継目の密実性も耐久性評価に考慮すべき重要な要因となっている⁵⁾。

既往の研究では打継目を設けることにより水・気密性が低下することが報告されているが^{6)・7)}、ほとんどがコンクリートに応力が作用していない状態で実験を行っている。実際の構造物では外力により、また、補修部でも外力のほかに新設コンクリートの乾燥収縮や温度変化に伴い、持続的もしくは繰返しの応力が打継目に作用する。コンクリート自体の透気性も応力の作用により変化することから⁸⁾、打継目においても応力の作用により打継目の密実性が変化することが考えられる。

そこで本研究では、処理方法および処理深さが異なる打継目を設けた打継型供試体および打継目のない一体型供試体を製作し、作用する応力としては影響が大きいと考えられる引張応力を取り上げ、静的引張試験、持続引張試験および繰返し引張試験を実施し、これら引張応力状態における打継目を有するコンクリートの透気性状を力学特性とともに把握し、打継目のないコンクリートと比較検討している。そしてコンクリートあるいは打継目に繰返し引張応力の作用により生じる微細なひび割れや剥離などの空隙を欠陥率で表し、繰返し引張応力下のコンクリートの透気係数および弾性係数の変化を欠陥率の増加の観点から検討している。

表-1 コンクリートの示方配合

コンクリートの種類	セメントの種類	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤	AE剤	遅延剤
既設	普通	60	46	167	278	812	976	0.83*	0.83	-----
新設	超速硬	35	43	170	486	699	957	6.32**	-----	2.92

*:AE減水剤, **:高性能減水剤

表-2 供試体一覧

供試体名	供試体種類	コンクリートの種類	打継目の処理方法	平均処理深さ (mm)
JG-4	打継型	既設	グリーンカット	3.9
JG-3				2.8
JS-3			ショットブラスト	2.9
JS-1				1.3
NJ-O	一体型	新設		
NJ-N				

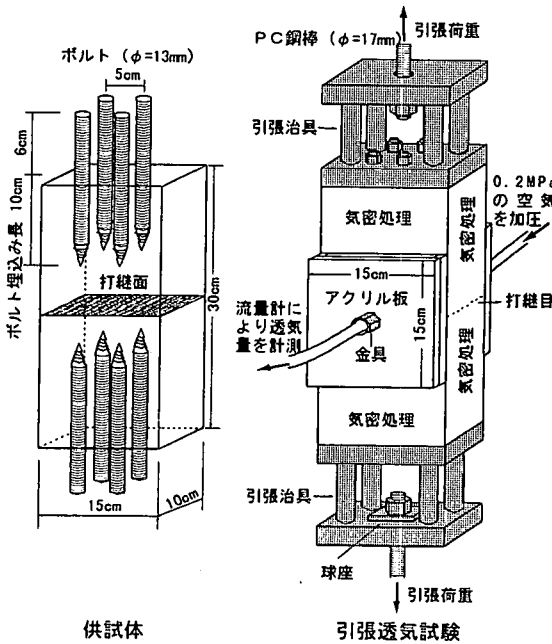


図-1 供試体の概要

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

本実験では打継型供試体および一体型供試体を作製した。一体型供試体は打継型供試体の既設部および新設部と同じ材料および同じ配合のコンクリートにより作製した。打継型供試体の既設部には普通ポルトランドセメント(比重3.15)を、新設部には超速硬セメント(比重3.03)をそれぞれ使用した。細骨材には愛媛県大三島産海砂(比重2.54, 吸水率2.72%, 粗粒率3.22)を、粗骨材には愛媛県川内産砕石(最大寸法20mm, 比重2.63, 吸水率1.54%, 粗粒率6.45)を使用した。混和剤としては、既設コンクリートにはリグニンスルホン酸系AE減水剤を使用し、新設コンクリートにはナフタリンスルホン酸系高性能減水剤と超速硬セメント用遅延剤を使用した。本研究に用いた既設および新設コンクリートの示方配合を表-1に示す。

(2) 供試体

供試体は図-1に示す10×15×30cmの角柱供試体であり、供試体の両端には引張力を与えるための先端を尖らせ溝を切削したボルト(φ13mm)をそれぞれ4本埋め込んでいる。打継目の処理方法はショットブラストとグリーンカットの2種類とし、それぞれの処理方法において処理深さを2通りとした。

ショットブラストの場合、既設コンクリートは打設後14日まで水中養生を行い、その後、実験室内で気中養生を7日間行い打継目の処理を施した。打継目の処理深さはショットブラストの投射回数を変えることにより調整した。打継目の処理を終えた既設コンクリートは新設コンクリートを打設するまで気中養生を行った。グリーンカットの場合、既設コンクリートの打継部に接する型枠の内側に遅延シートを貼り、硬化の遅れた部分のモルタルを水とワイヤーブラシにより取り除き、粗骨材を露出させた。打継目の処理深さは洗い出し深さの異なる遅延シートの使用とモルタル除去の時期を変えることにより調整した。グリーンカット処理を終えた既設コンクリートは打設後14日まで水中養生を行い、その後は新設コンクリート打設まで気中養生を行った。

打継目は鉛直打継目とし、新コンクリートは打継目表面を毛ブラシでゴミなどを取り除いた後に、打継目表面に散水せずに打設した。新コンクリートには超速硬セメントを使用していることから打設後1日で脱型し、試験を行うまで気中養生を行った。一体型供試体の養生条件は打継型供試体の既設部あるいは新設部と同じである。供試体一覧を表-2に示す。

す。表-2の打継型供試体に示している平均処理深さは一定量の細砂をガラス板でほぼ円形に広げた時の面積と細砂の体積から求めた処理深さの指標である⁹⁾。表-2に示す値はそれぞれの方法で処理した供試体全ての平均値である。

(3) 載荷試験および透気試験

本研究で行った載荷試験は静的引張試験、持続引張試験および繰返し引張試験の3種類である。

静的引張載荷試験は供試体に埋め込まれたボルトに載荷治具を取り付け、PC鋼棒を介して万能試験機に設置して行った。載荷試験ではワイヤーストレインゲージ(ゲージ長2cm)を15×30cmの両面の供試体中央に貼付して約2kN毎に破壊に至るまでひずみを計測した。透気試験に用いた供試体は図-1に示すように載荷治具の他に供試体の両側面にアクリル板を取り付け、アクリル板以外の部分をエポキシ樹脂接着剤で気密処理した。そして片方のアクリル板内に0.2N/mm²の空気圧を作用させ、供試体を透過した空気を反対側のアクリル板で集め流量を測定した。なお、気密処理部からの空気の漏れの無いことは石鹸水を吹き付けて確認した。空気圧は引張載荷前に与え、流量が定常状態になった後に荷重を作用させた。与えた荷重は引張強度の0%、25%、50%、75%に相当する荷重である。また、透気量の測定は所定の荷重を与えた直後、載荷90分後、載荷180分後の3回行った。載荷試験および透気試験それぞれに用いた供試体数は打継型、一体型どちらも3体である。

持続引張試験ではH鋼材で製作した反力フレームとバネを用いて一定の持続荷重を作用させた。試験中の持続荷重はロードセルにより一定となるように調整した。与えた荷重は静的試験の結果を参考にして荷重レベルが大きいくほど荷重作用の影響が捉えやすいため、クリープ破壊しないことを考慮して引張強度の70%に相当する荷重とした。持続引張試験では打継型のJG-3とJS-3をそれぞれ2体、一体型のNJ-0とNJ-Nをそれぞれ1体用い、同一供試体でひずみ測定と透気量測定を静的引張試験と同じ方法で行った。空気圧は所定の荷重を作用させるまでは静的引張試験と同様に与え、一定持続荷重となった後は透気量を測定する時に空気圧を与えた。なお、持続引張試験は温湿度を制御していない実験室で実施した。

繰返し引張試験ではサーボ式疲労試験機を用いて行った。繰返し引張応力比は下限値を静的引張強度の5%、上限値を持続引張試験と対応させて静的引張強度の70%とし、周波数10Hzの正弦波により繰返し引張載荷を行った。繰返し引張試験では打継型のJG-3とJS-3をそれぞれ2体、一体型のNJ-0を2体用い、

ひずみ測定と透気量測定は同一供試体で行った。空気圧は荷重を作用させる前から疲労破壊するまで与え続けた。ひずみは正弦波による載荷を所定の回数において停止し、静的試験と同様な方法で引張強度の0~70%の範囲で測定した。また、透気量測定はひずみ測定時に行い、引張強度の70%の引張応力作用時の値を所定の繰返し回数での透気量とした。

本研究では打継目の透気係数を打継型供試体の透気量と新旧コンクリートそれぞれの一体型供試体の透気量の差として得られる透気量を用いて求めている。すなわち、本実験での透気試験ではコンクリート中の圧力分布は打継型の場合でも供試体中央に関して対称となり、また、供試体中央部分では一次元流れとみなせる状態となっているので、透気量に関して重ね合わせができる。本研究では打継目を有するコンクリートの透気する部分を打継目と新旧コンクリートそれぞれの部分とし、新旧コンクリートそれぞれの部分の透気量は既設と新設コンクリートの一体型供試体の透気量の1/2に等しいとして求め、打継型供試体の透気量からそれらを差し引くことにより打継部の透気量を求め、これを透気面での打継長さ×単位幅(1cm)からの透気量として一体型と同様に次式により計算される透気係数を打継目の透気係数としている。

$$K = \frac{2 L P_1 Q}{P_1^2 - P_2^2 A} \quad (1)$$

ここに、 K :透気係数[cm²/(s·N)]、 L :供試体厚さ(cm)、 P_1 、 P_2 :載荷圧および大気圧(N/cm²)、 Q :透気量(cm³/s)、 A :透気面積(cm²)である。

3. 実験結果および考察

(1) 静的引張試験

図-2は静的引張試験で得られた打継目を有するコンクリートの引張強度と平均処理深さの関係を示す。図中の破線は既設コンクリートおよび新設コンクリートそれぞれ3体の引張強度の平均値である。ショットブラストおよびグリーンカットどちらの表面処理方法においても平均処理深さが大きくなるにつれて打継型供試体の引張強度は増加している。しかしながら、平均処理深さが同じであっても処理方法によって引張強度にかなりの差が見られる。平均処理深さがほぼ同じであるJG-3とJS-3の引張強度の平均値を既設コンクリートの引張強度の平均値に対する割合で比較すると、JG-3が99%と殆ど強度低下を示さないのに対し、JS-3では63%まで強度低下を示している。

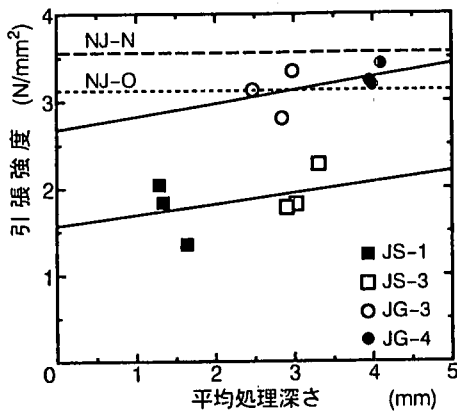


図-2 引張強度と平均処理深さの関係

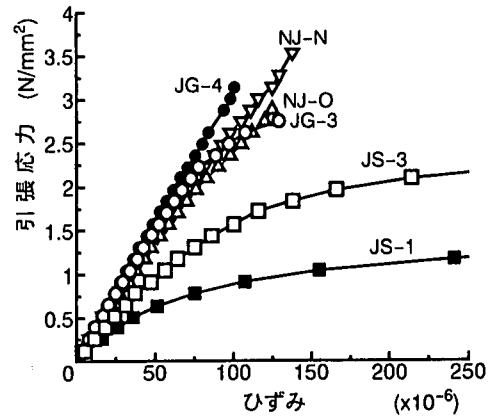


図-4 応力-ひずみ関係

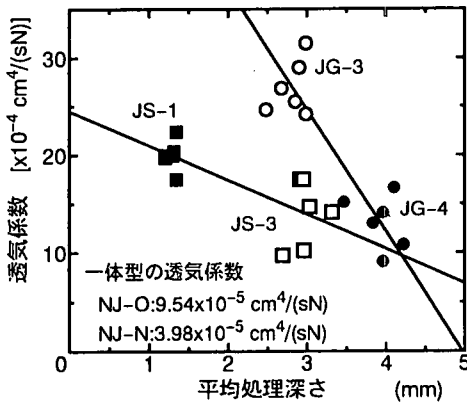


図-3 透気係数と平均処理深さの関係

図-3 は応力が作用していない場合の打継目の透気係数と平均処理深さの関係を示す。一体型の透気係数は3体の平均値である。打継目の透気係数は一体型コンクリートの透気係数より大きくなっている。グリーンカットによる打継目の処理を行った場合、引張強度は既設コンクリートの引張強度とほぼ同程度の値であったが、透気係数は既設コンクリートより大きくなっている。また、どちらの処理方法においても処理深さを深くすることにより透気係数は小さくなっている。引張強度では平均処理深さがほぼ同じでもJG-3のほうがJS-3より大きかったが、透気係数に関しては反対にJS-3のほうがJG-3より小さくなっており、透気の観点からはショットブラストによる処理のほうが密実な打継目となっている。

この打継目の引張強度と透気係数の傾向の違いは新コンクリートの打継目での付着性と打継目に生じる空隙の引張強度と透気係数に及ぼす影響の違いによるものと考えられる。打継目の表面形状を観察す

るとショットブラストで処理を行った打継目は鋼粒子によりモルタルが取り除かれるとともに粗骨材も研磨されて滑らかな凹凸面であるのに対し、グリーンカットで処理を行った打継目は細かな骨材が表面に残留しており、粗骨材の尖った部分が確認でき、ショットブラストと比較すると鋭い凹凸面である。従って、ショットブラストでは打継目の表面が滑らかであるため新コンクリートが打継目に付着しやすく、空隙も生じにくい、グリーンカットに比べて付着面積が小さい。グリーンカットでは打継目表面の鋭い凹凸のため新コンクリート打設の際に気泡が追い出されず空隙が生じやすいが、付着面積が大きいことと新コンクリートと打継目の骨材において噛み合わせのような作用が働き、空隙があっても引張強度がほとんど低下しなかったものと思われる。

JG-3、JS-3どちらも全ての供試体で打継目で破壊したが、それぞれの既設部の破断面を観察するとJS-3よりJG-3のほうが付着した既設コンクリートの量がよく観察された。JS-1も全て打継目で破壊したが、JG-4は既設コンクリートのボルト先端近くで破壊した。一体型のNJ-Nもボルト先端近くで破壊したが、NJ-Oはボルト先端から数cm離れた位置で破壊した。また、後述する繰返し引張試験でも破断位置はどの供試体においても静的引張試験と同じであった。

引張強度では打継目の空隙と付着している部分の強度が関係するが、透気係数では空隙が直接関係するため、空隙が生じにくいショットブラストのほうがグリーンカットより透気係数が小さくなったと思われる。また、透気係数では空隙の量に加えて空隙の連続性も影響するため、平均処理深さが大きいJG-4では空隙の連続性が悪くなりJG-3より透気係数が小さくなったと考えられる。

図-4 は静的引張試験における打継型および一体

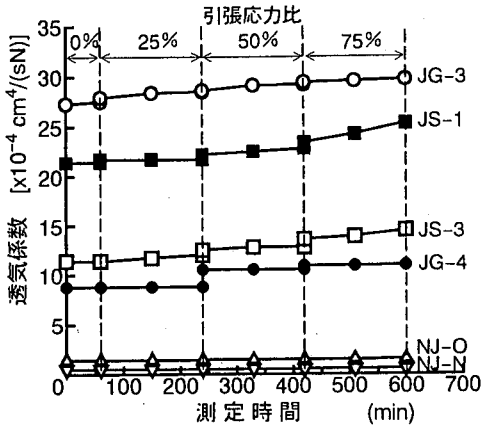


図-5 静的載荷時の透気係数

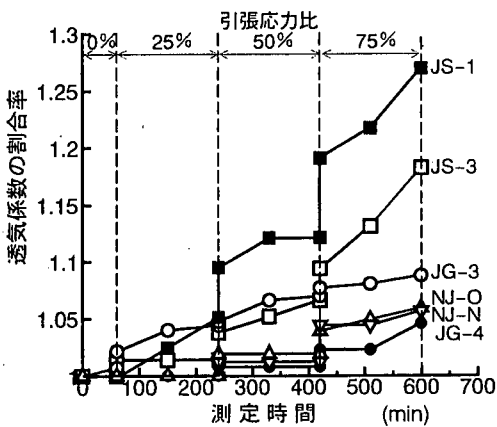


図-6 透気係数の増加率(静的載荷)

型の各供試体3体のうちの1体の応力-ひずみ曲線を示す。引張強度の結果と同様に、グリーンカットによる処理を行った打継型供試体の引張剛性は一体型供試体とほぼ同じである。しかしながら、ショットブラストにより処理を行ったJS-3、JS-1の引張剛性は一体型より低下しており、平均処理深さの小さいJS-1の剛性低下がより大きくなっている。なお、各供試体の50 μ から引張強度の1/3における割線弾性係数において、3体の差が最も大きかったものはJS-1で約12%であった。

図-5は静的引張試験時の各供試体3体のうちの1体の透気係数の変化を示す。打継型の各供試体3体の載荷前の透気係数の差は図-3に示す範囲であり、載荷後の透気係数の変化はほぼ同じ傾向を示した。図-5より一体型の供試体の透気係数は値も小さく荷重の増加による増加もほとんどない。一方、打継目の透気係数は荷重の作用により増加する傾向がみられる。

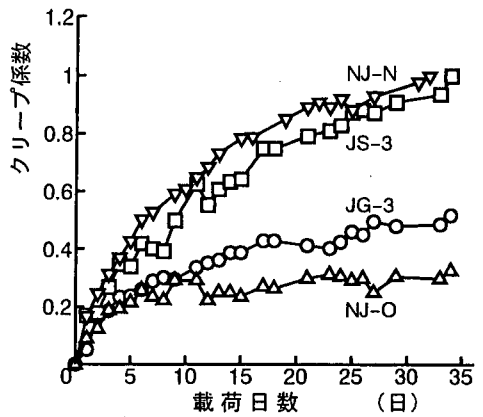


図-7 クリープ係数

しかしながら、荷重が作用していない場合の透気係数の大きさが異なり比較しにくいので、図-5の結果を載荷前の透気係数に対する各引張応力レベルでの透気係数の増加率にして図-6に示す。一体型では応力比50%までは既設および新設コンクリートとも透気係数は増加しておらず、応力比50%前後から増加する傾向がみられるがわずかである。打継型ではJG-4を除いては応力比25%から透気係数が増加しており、最も増加しているJS-1において応力比75%で約1.25倍である、荷重の作用による透気係数の増加の程度はグリーンカットよりショットブラストのほうが大きく、平均処理深さが小さいものほど大きくなっており、引張強度の結果と対応した傾向である。

(2) 持続引張試験

図-7は静的載荷時に生じたひずみに対するその後の持続荷重により増加したひずみの割合をクリープ係数として示したもので、打継型では1供試体の結果である。持続荷重によるひずみには引張強度の70%の応力を作用している供試体のひずみから荷重を作用させていない供試体のひずみを差し引いた値を用いている。打継型の供試体のクリープ係数はショットブラストにより処理したものがグリーンカットのものより大きくなっている。また、一体型では新設コンクリートのクリープ係数が既設コンクリートより大きくなっているが、これは新設コンクリートでは荷重を作用させた材齢が既設コンクリートより早いためである。

図-8、図-9は一体型および打継型供試体の持続引張荷重下での透気係数の経時変化を無載荷の場合と併せて示したものである。図の最初の値は載荷前の値であり、打継型は1供試体の結果である。一

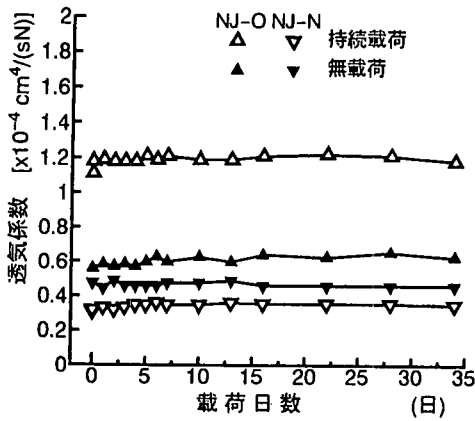


図-8 持続引張応力下の透気係数(一体型)

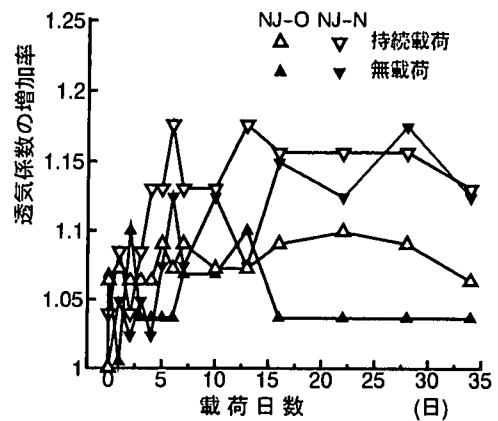


図-10 透気係数の増加率(持続載荷, 一体型)

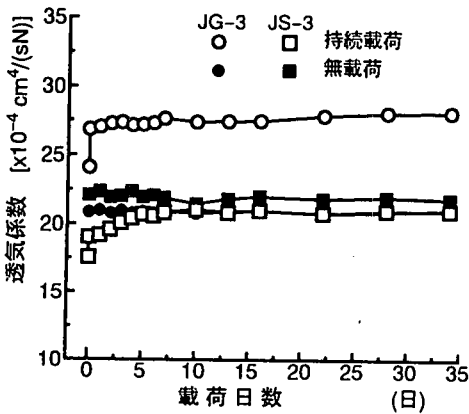


図-9 持続引張応力下の透気係数(打継型)

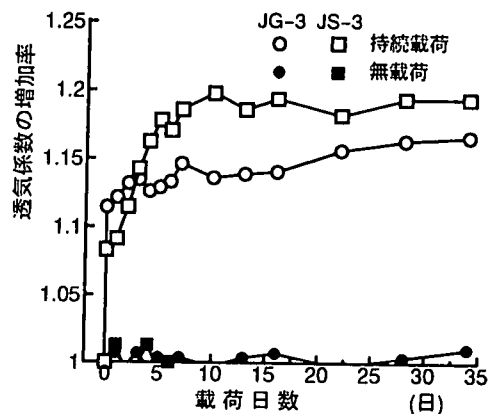


図-11 透気係数の増加率(持続載荷, 打継型)

一体型においては持続引張荷重の作用の有無によらず透気係数はほとんど変化していない。打継型でも荷重が作用していない場合は透気係数はほとんど変化していない。しかしながら、持続荷重下では荷重が作用することにより透気係数は増加するが、その後の経時的な透気係数の増加はわずかである。

図-10、図-11は図-8、図-9の結果を載荷前の透気係数に対する各載荷日数における透気係数の増加率で示したものである。一体型の透気係数の増加率は変動しながら大きくなっているが、荷重が作用していない場合も同じ程度の増加率となっている。これは一体型の場合透気量が少なく、わずかの増加でも増加率にすると大きく表れるためであり、一体型では持続載荷の影響は小さいと考えられる。打継型の供試体において載荷後早期における透気係数の増加率はショットブラストのほうがグリーンカットより大きい。載荷日数10日以降の透気係数の増加率の変化はどちらも小さく、打継型においても持続

載荷の影響は小さいと考えられる。

(3) 繰返し引張試験

図-12は打継型と一体型供試体の繰返し引張試験における1供試体の最大ひずみと残留ひずみを示す。横軸はひずみを計測した繰返し回数を破壊回数で除した繰返し回数比で表している。図示していないもう一方の供試体の破壊回数はNJ-0で325873回、JG-3で112343回、JS-3で13883回であった。どの供試体においても圧縮の疲労の場合と同様に繰返し回数比の増加に伴うひずみの変化は遷移領域、定常領域および加速領域の3領域に分けることができる¹⁰⁾。

図-13は図-12に対応する各繰返し回数比における弾性係数を示す。図-13に示す弾性係数は周波数10Hzの正弦波による繰返し載荷を停止し、引張応力比0~70%の範囲で静的載荷試験と同様に載荷して50 μ と引張強度の1/3における割線弾性係数である。一体型NJ-0と打継型JS-3においては定常領域にお

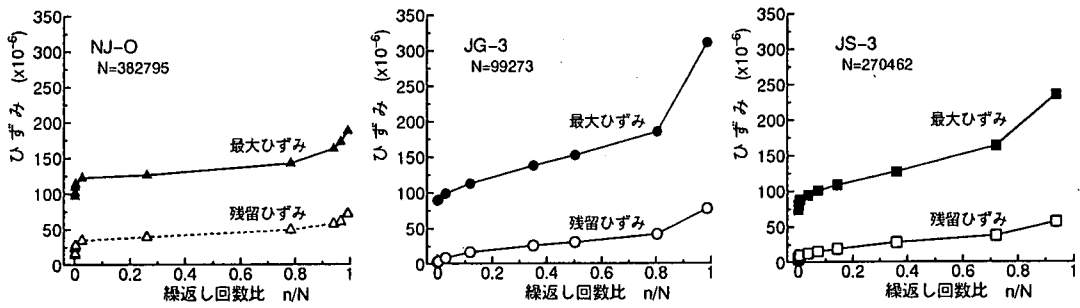


図-12 繰返し载荷における最大および残留ひずみの変化

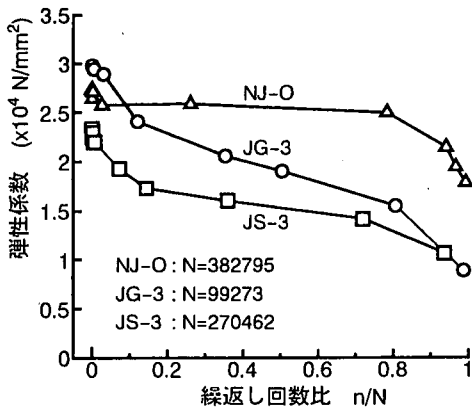


図-13 繰返し载荷による弾性係数の変化

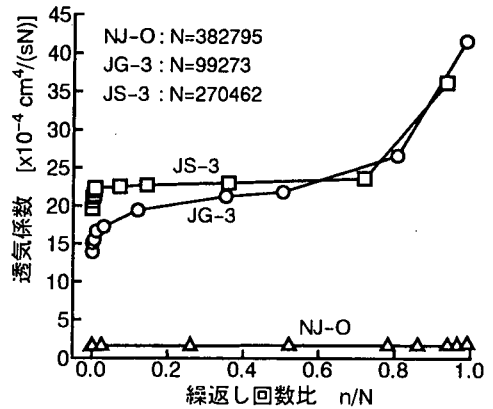


図-14 繰返し引張応力下の透気係数

る弾性係数の低下は小さい。しかし、破壊時の繰返し回数比が他の供試体に比べて最も少ない打継型JG-3においては定常領域における弾性係数の低下が大きくなっている。また、打継型および一体型どちらも繰返し回数比が約0.8以上で定常領域から加速領域となり弾性係数の低下が大きくなっている。圧縮の疲労においては破壊直前においては弾性係数は最初の値の60%程度となるといわれているが¹⁰⁾、一体型のNJ-0で65%、打継型のJG-3、JS-3でそれぞれ30%、46%である。

図-14は図-12に示した供試体で測定した繰返し回数比の増加に伴う透気係数の変化を示し、図-15はその結果を载荷前の透気係数に対する载荷後の各繰返し回数比での透気係数の増加率で示したものである。透気係数においても弾性係数と同様に繰返し回数比初期において大きく増加した後、ほぼ一定の割合で増加している。そして、繰返し回数比が0.8以上になると透気係数は急激に増加している。繰返し回数の増加による透気係数の増加率は破壊時の繰返し回数が少ない打継型JG-3において最も大きな

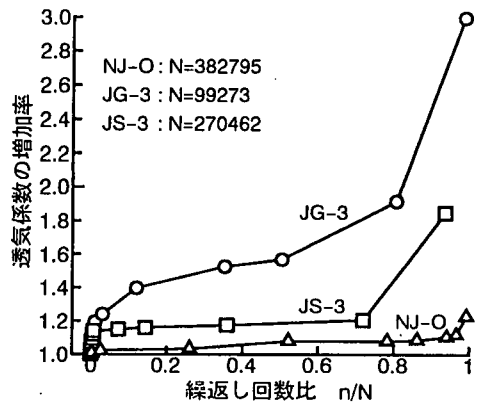


図-15 透気係数の増加率(繰返し载荷)

っている。

(4) 透気性状と力学特性の関係

次に透気性状と力学特性の関係について検討する。図-16は引張強度と応力が作用していない場合での透気係数の関係を示したものである。図中の直線は

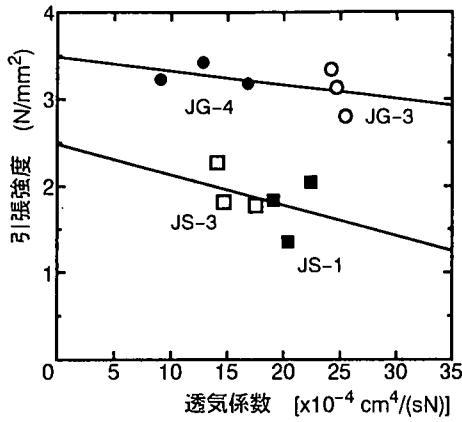


図-16 引張強度と透気係数の関係

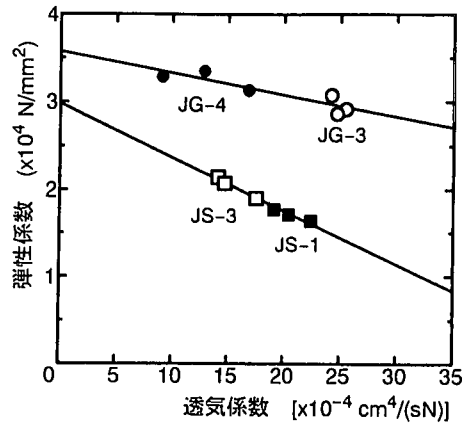


図-17 弾性係数と透気係数の関係

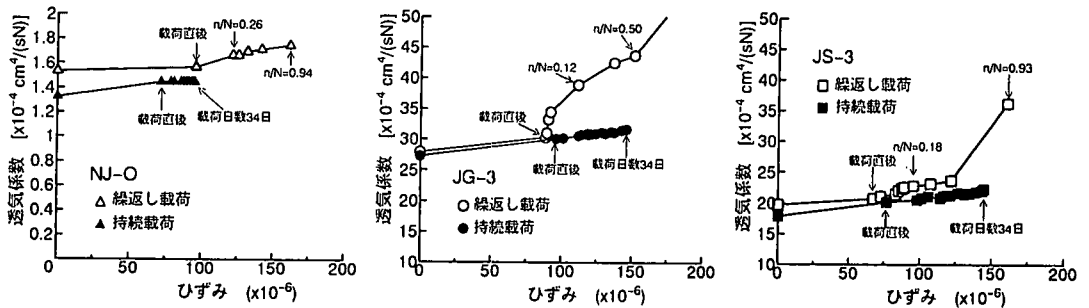


図-18 持続引張および繰返し引張応力下のひずみと透気係数の関係

グリーンカットおよびショットブラストそれぞれにおいて最小2乗法により直線回帰したものである。それぞれの処理方法に関して引張強度が低下すると透気係数が大きくなる傾向がみられるが、どちらの処理方法においても引張強度の最も小さな結果を除けば、透気係数に差があっても引張強度はほぼ同じであると考えられ、既に述べたように打継目に関しては引張強度と透気係数は必ずしも対応しない。

図-17は弾性係数と透気係数の関係を示したものである。弾性係数には静的引張試験で得られた応力-ひずみ関係の引張強度の1/3における割線弾性係数を用いている。引張強度と同様にショットブラストとグリーンカットの処理方法により弾性係数と透気係数の関係は分かれているが、引張強度に比べて弾性係数のほうが透気係数とより良い相関関係が得られている。

図-18は持続引張試験および繰返し引張試験におけるひずみと透気係数の関係を示したものである。ひずみが0の点を除いて、持続荷重の場合のひずみは持続荷重を作用させた供試体のひずみから荷重を作用させていない供試体のひずみを差し引いたものであり、繰返し荷重の場合は引張応力比70%の応力

が作用した状態でのひずみである。一体型において、持続引張荷重が作用した場合荷重の作用直後にひずみの増加とともに透気係数は若干増加しているが、その後はひずみが増加しても透気係数は増加していない、しかし、繰返し引張荷重が作用した場合には繰返し荷重の作用によりひずみが増加するとともに透気係数も増加している。持続荷重ではクリープによりひずみが増加する。クリープを引き起こす正確な機構はまだ明らかとなっておらず、層間水の移動やゲル粒子相互間のすべりなどの説があるが¹³⁾、これらはコンクリートの透気性に影響するコンクリート内部の構造変化とは考えられないことから、持続荷重下ではひずみが増加しても透気係数が変化しなかったものと思われる。一方、繰返し荷重では繰返し回数の増加とともにコンクリート内部に微細なひび割れの発生や進展が起るため、ひずみが増加するとともに透気係数も増加すると考えられる。

打継型においては、打継目の表面処理の方法によらず、持続引張荷重下の透気係数は載荷時を含めてひずみの増加と直線関係にある。打継型供試体では作用している引張応力の大きさは一体型より小さく、上述の一体型の結果から、打継目以外のコンクリー

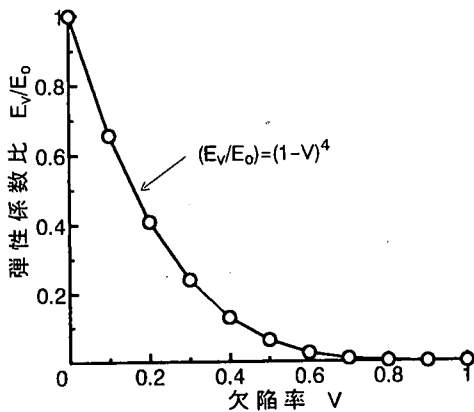


図-19 欠陥率と弾性係数の関係

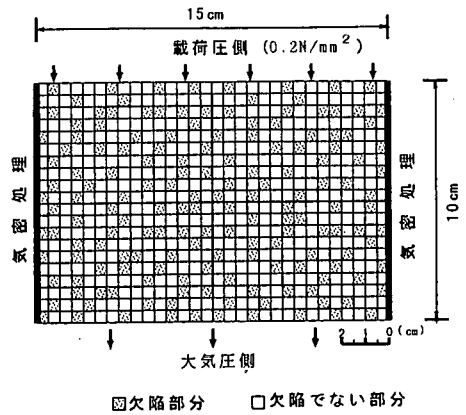


図-20 コントロールボリュームの配置例

ト部の透気係数の変化はほとんどないと考えられる。また、載荷日数35日後に除荷して行った静的載荷試験より得た弾性係数は持続載荷直後の値より低下することなく若干増加していた。従って持続引張応力下の打継目においても一体型と同様に剥離や微細ひび割れの発生が少なく、ひずみが増加しても透気係数はあまり増加しなかったものと思われる。繰返し載荷試験においては一体型と同様に弾性係数も低下しており、打継目において剥離やひび割れなどが多く発生、進展し、ひずみおよび透気係数が増加したと考えられる。

(5) 欠陥率による検討

上述の繰返し応力下でのコンクリートの透気性状および力学特性の変化はどちらもコンクリートあるいは打継目において生じるひび割れや剥離などの欠陥の増加によるものと考えられることから、以下に示す欠陥率を用いて両者の検討を行う。

既往の研究においてコンクリートの弾性係数の不十分な締固めによる低下を空隙率の増加により評価している¹²⁾。本研究ではこの考え方をコンクリートあるいは打継目に適用し、繰返し荷重の作用により生じるひび割れや剥離を空隙の増加とし、これを欠陥率として、弾性係数の低下を次式で表す。図-19は式(2)の関係を図示したものである。

$$E_v/E_0 = (1-V)^4 \quad (2)$$

ここで、 E_v ：繰返し載荷により低下した弾性係数、 E_0 ：載荷前の弾性係数、 V ：欠陥率である。

図に示されるように弾性係数の低下に及ぼす欠陥の増加の影響は大きく、欠陥率が20%の場合、弾性係数は約40%に低下する。

一方、欠陥率の増加による透気係数の増加に関してはコントロールボリュームを用いた差分法解析

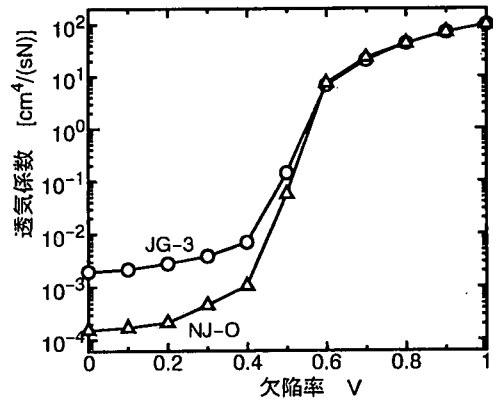


図-21 欠陥率と透気係数の関係

より評価した¹³⁾。解析では図-20に示すような2次元配列の単位幅を有するコントロールボリュームを供試体の空気の透過方向と平行な面に配置した。欠陥はコントロールボリュームの透気係数を大きくすることで表し、全体の面積に対する透気係数の大きいコントロールボリュームの面積の割合を欠陥率とした。実際に発生する欠陥は大きなものから微細なものまで大きさも異なり、さらにその連続性も考慮する必要があるが、本研究では欠陥の割合のみに着目した。コントロールボリュームの大きさを5x5mmから0.5x0.5mmまで変化させた解析では各コントロールボリュームの大きさにおいて欠陥の配置によって透気量は変化した。欠陥率が同じであれば配置の異なる結果を平均した透気量にはコントロールボリュームの大きさの違いによる差はあまりみられなかった。

図-21はコントロールボリュームの大きさを5x5mmとした場合の欠陥率の増加による透気係数の変化を

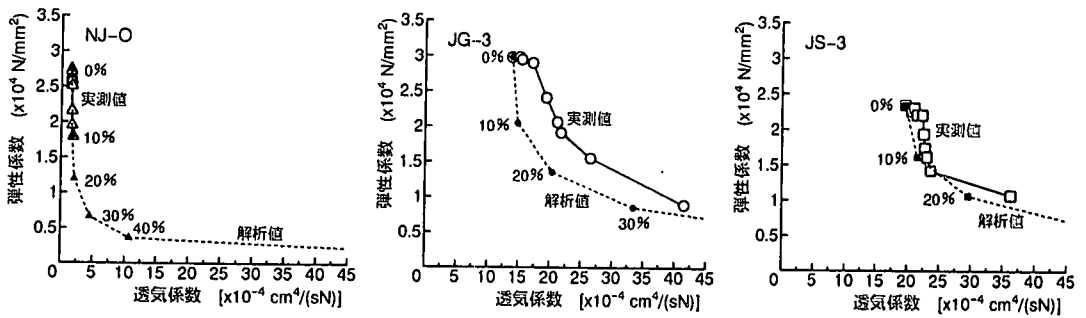


図-2.2 実験結果と解析結果の比較

示したものである。欠陥でない部分の透気係数には繰返し荷重が作用する前の実測値を用いた。また、コンクリート中にひび割れ領域が存在する場合の透水の研究において¹⁴⁾、ひび割れ領域のコンクリートの透水係数が 10^{-4} (cm/s) オーダーという報告があり、透水係数と透気係数の違いは水と空気の粘性の違いだけであるため¹⁵⁾、これらを参考にし、欠陥部の透気係数は 1×10^2 [cm⁴/(sN)]とした。解析された透気流量から式(1)により透気係数を計算した。図-21には20種類の配置パターンの透気係数の平均値を示している。欠陥率が40%以下では透気係数の大きい欠陥部が連続していないため、透気係数の小さいコントロールボリュームの部分が流れを律速し、透気係数の増加はあまり大きくない。しかし、欠陥率が50%あたりで水みちのように欠陥部が連続するため、急激に透気係数が増大する。

コンクリート内部あるいは打継目での微細ひび割れや剥離を調べて欠陥率を求めることは困難であるので、図-19と図-21より得られる弾性係数と透気係数の関係を用いて欠陥率による評価の妥当性を検討する。図-22は実験と解析で得られた弾性係数と透気係数の関係を示したものである。一体型に関しては実測値と解析値は良く一致している。打継型ではグリーンカット処理の解析値は透気係数の増加をやや過小評価する傾向がみられるが、概ね実測値と一致していると考えられる。このように繰返し荷重の作用による損傷の程度を欠陥率で表し、これを共通の因子として用いることにより、弾性係数の低下と透気係数の増加を評価することができた。

5. 結論

本研究では、新旧コンクリートの打継目に応力が作用した場合の打継目の透気性状を把握するために静的引張荷重実験、持続引張荷重試験および

繰返し引張荷重試験を実施し、打継目の透気性状を力学特性とともに検討したものである。本研究の範囲で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

(1) グリーンカットによる処理を行った打継目の引張強度は既設コンクリートの引張強度とほぼ同じであったが、ショットブラストによる処理では打継目の引張強度は45~65%に低下した。それぞれの処理方法において打継目の処理深さが深くなると引張強度は増加するが、処理深さが同じであっても処理方法により引張強度に差がみられた。

(2) 応力が作用していない場合のショットブラスト処理の打継目の透気係数はグリーンカット処理のものより小さくなった。打継目の処理深さの影響は引張強度と同様に処理方法による差はあるが、処理方法が同じであれば処理深さが深くなると透気係数は小さくなる。

(3) 静的引張応力が作用することにより、打継目の透気係数は大きくなる。引張応力が作用していない場合の透気係数に対する引張強度の75%の引張応力が作用している場合の透気係数の増加率で比較すると、グリーンカット処理した打継目は一体型のコンクリートとほぼ同じであるが、ショットブラスト処理のものはそれらより大きい。また、それぞれの処理方法で処理深さが浅くなると透気係数の増加率が大きい。

(4) 一体型コンクリートの透気係数の経時変化に及ぼす持続引張応力の作用の影響はほとんどみられず、引張応力作用前の透気係数に対する作用後の透気係数の増加率で比較すると、無荷荷の場合とほぼ同じである。打継目の透気係数は持続引張応力の作用により経時的に増加するが、その増加はわずかであった。

(5) 繰返し引張応力の作用により、一体型コンクリートおよび打継目の透気係数は繰返し回数とともに増加し、引張応力が作用していない状態での透気係数に対する割合で比較すると、その増加

率は打継目のほうが大きい。また、持続引張応力の場合と比較して、応力の作用によるひずみが同じであっても、繰返し引張応力の場合のほうが透気係数は大きくなる。

(6) 繰返し引張応力が作用することによりコンクリートあるいは打継目に生じる微細ひび割れや剥離の程度を欠陥率で表し、欠陥率を用いて弾性係数の低下と透気係数の増加を解析した結果は実測値とほぼ一致した。

参考文献

- 1) 初崎俊夫, 川崎宏二, 三浦尚: 低温液貯槽に用いるコンクリートの透気, 透水性に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.384/V-7, pp.63-72, 1987.8.
- 2) 廣永道彦, 遠藤孝夫, 小野定, 名倉健二: コンクリートの止水性能評価モデルの検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.14, No.1, pp.727-732, 1992.5.
- 3) 足立一郎, 小林一輔: ショットブラストを利用した新旧コンクリートの打ち継ぎ工法に関する研究, 土木学会論文集, No.373/VI-5, pp.64-73, 1986.9.
- 4) 吉田弥智, 中島清美: 超速硬セメントコンクリートの新旧打継目に関する研究, セメント・コンクリート, No.347, pp.9-15, 1976.1.
- 5) 長瀧重義, 大即信明, 守分敏郎, 鎌田敏郎, 宮里心一: 断面修復部における打継目の物質通過性が鉄筋のマクロセル腐食に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.578/V-37, pp.31-42, 1997.11.
- 6) 村田二郎: コンクリートの水密性の研究, 土木学会論文集, 第77号, pp.69-99, 1961.11.
- 7) 氏家勲, 菊地一義, 佐藤良一, 長瀧重義: 新旧コンクリートの打継目の透気性状に影響を及ぼす要因に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.747-752, 1995.6.
- 8) 米倉亜州夫, 田澤榮一, 黒澤功, 井上英司: 一軸圧縮応力を受けるコンクリートの透気性および吸水性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.401-406, 1990.6.
- 9) 金子林爾, 山田一久: 超遅延剤を用いたコンクリートの表面粗さ評価と打継目強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.517-522, 1997.6.
- 10) 徳光善治, 松下博通: 繰返し荷重を受けるコンクリートの疲労強度, コンクリート工学, Vol.17, No.6, pp.13-22, 1979.6.
- 11) ネビル, A. M.: コンクリートの特性, 後藤幸正, 尾坂芳夫監訳, 技報堂出版, 1979.11.
- 12) Hansen, T.C.: Influence of aggregate and voids on modulus of elasticity of concrete, cement mortar, and cement paste, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.62, No.2, pp.193-229, 1965.2.
- 13) バタンカー, S. V.: コンピュータによる熱移動と流れの数値解析, 水谷幸夫, 香月正司共訳, 森北出版, 1985.
- 14) 大下英吉: 微細ひび割れを含むコンクリート体の透水メカニズムに関する研究, 名古屋大学 博士(工学)論文, 1995.4.
- 15) Banforth, P.B.: The relationship between permeability coefficients for concrete obtained using liquid and gas, *Magazine of Concrete Research*, Vol.39, No.139, pp.3-10, 1987.3.

(1998. 8. 5 受付)

AIR PERMEABILITY OF JOINT BETWEEN EXISTING AND NEWLY PLASSED CONCRETE SUBJECTED TO SUSTAINED AND REPEATED TENSILE STRESSES

Isao UJIKE and Hideki KANAZAWA

Air permeability of joint between new and old concrete under tensile stress is investigated with mechanical properties of joint experimentally. Treatment roughening the joint surface is made by shot blast method and green cut method. Static, sustained and repeated tensile stresses are applied to specimen, respectively. When viewed in terms of the increasing ratio of air permeability coefficient of specimen in loaded condition to that of specimen in unloaded condition, the increasing ratio for joint is larger compared to that for concrete without joint. Changes in air permeability coefficient and elastic modulus of joint subjected to repeated tensile stress are related to each other by defect rate.