

論文

[1119] 逆打打継ぎ部の水密性に関する研究

正会員○高幣喜文(竹中工務店技術研究所)

正会員 鈴木計夫(大阪大学工学部)

正会員 両角昌公(竹中工務店技術研究所)

1. はじめに

逆打工法における打継ぎ部には耐力、耐久性、水密性等の諸性能が要求される。筆者らは柱を対象にして、主に力学的性能に関する研究を行ってきた^{1)~3)}。地下外周壁では、力学性能とともに水密性が重要である。打継ぎの水密性に関しては、村田の研究⁴⁾があるが、順打継ぎや鉛直打継ぎを対象にしており、逆打打継ぎの水密性に関する研究は少ない。鉄骨や鉄筋が複雑に入ってくる実部材では、逆打打継ぎ部はブリージング水の排出、レイタンス処理が不十分になり、コンクリートの充填性が悪く、隙間ができ易い。このような施工の不確定要素が入り易い部分の性能を、実験室でのモデル実験で検証することは再現性が乏しく、実物の部材で水密性能を調査することが現実的である。現在よく採用される逆打打継ぎ処理法は直接法、注入法がある。前者では、普通コンクリートを用いる場合隙間が大きくなるため、各種の添加材が開発されている。添加材の種類は無収縮系と膨張系に大別され、前者にはカルシューム・サルフォ・アルミネート(CSA)系やメチルセルローズ(MC)系、後者は鉄粉系やアルミニウム(Al)系がよく用いられる。本研究では、MC系とAl系の添加材を用いた直接法とセメントペースト(以下ペーストと略称)注入法の水密性の現状を実物の柱で調査し、その改良工法について実現場で検証した結果について述べる。

2. 逆打打継ぎ部の水密性の現状

(1) 実験方法

実験は図-1に示す実物の柱を使って実施した。下部コンクリートの打込みは図-2の要領で行っており、約10cm程度余盛りし、流動圧による加圧効果を確保した。コンクリート及び注入ペーストの調合と試験結果を表-1に示す。ペーストの注入は図-2に示す手順(新注入法²⁾)で行った。実験は先ず、ペースト注入前に直接法の場合の水密性を調査し、その後ペーストの注入を行い、約2週間養生後打継ぎに沿って開けたコアボーリング(φ100mm)孔を利用して注水し、注入処理後(注入法)の水密性を調べた。

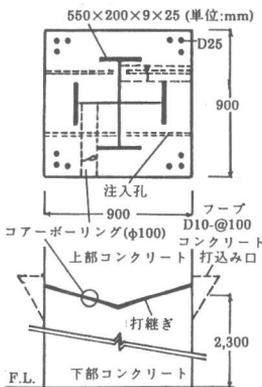
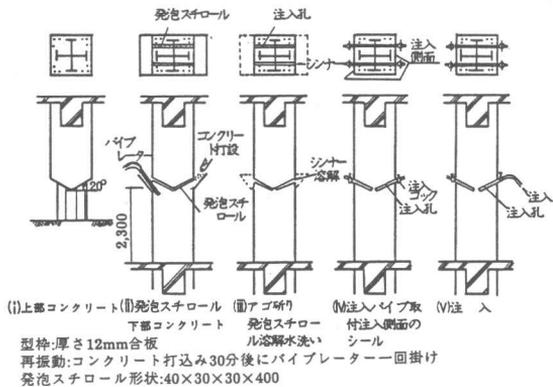


図-1 水密性調査柱の概要



(i)上部コンクリート (ii)発泡スチロール (iii)コンクリート打設 (iv)パイプ取り (v)注入
 下部コンクリート 発泡スチロール 付注入断面
 発泡スチロール除去
 型種:厚さ12mm合板
 再振動:コンクリート打込み30分後にバイブレーター一回掛け
 発泡スチロール形状:40×30×30×400

図-2 下部コンクリートの打込みと新注入法処理手順

表-1 コンクリートとセメントペーストの調合と試験結果

| 材料の種類 | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | 圧縮強度* (kgf/cm ²) | ブリーディング率 (%) |
|-------|-----------|---------|------------|----------|-------------------------|------|-----|-----|-------|-------|------------------------------|--------------|
| | | | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | AE減水剤 | 添加剤 | | |
| F | 18 | 4 | 47 | 43 | 178 | 378 | 758 | 992 | 3.79 | — | 390 | 5.05 |
| N | 18 | 4 | 47 | 43 | 178 | 378 | 758 | 992 | 3.79 | 0.682 | 340 | 0 |
| B | 18 | 6 | 47 | 43 | 178 | 378 | 758 | 992 | 3.79 | 1.19 | 351 | 5.27 |
| P | — | — | 50 | — | 605 | 1084 | — | — | — | 136 | 468 | — |

F: 普通コンクリート、N: ノンブリーディングコンクリート(MC系)、B: 膨張コンクリート(AL系)
P: 注入セメントペースト(添加材:CSA系)、*: 4週現場水中養生3体平均

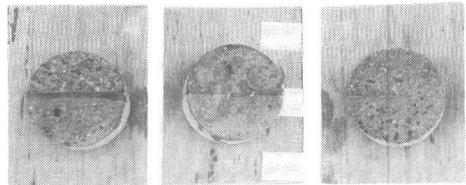
表-2 各柱のペースト注入量と隙間の大きさ

| コンクリートの種類 | 普通コンクリート | | | ノンブリーディング | | | 膨張コンクリート | | |
|------------|----------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
| | N-1 | N-2 | N-3 | T-1 | T-2 | T-3 | B-1 | B-2 | B-3 |
| 注入量(l) | 2.67 | 5.44 | 3.37 | 3.08 | 1.64 | 0.25 | 0.52 | 0.42 | 0.06 |
| 隙間の大きさ(mm) | 3.4 | 7.0 | 4.3 | 4.0 | 2.1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.1 |
| 平均隙間(比率%) | 4.9(100) | | | 2.1(43) | | | 0.4(9) | | |

○印: 注水実験を行った柱(N-2、T-1、B-1)

(2) 実験結果と考察

表-2は、ペースト注入量と注入量から逆算した隙間の大きさ(注入量/柱断面積)である。但し、注入量は注入孔の容積を差引いた値である。注入した柱は各調合で3本、合計9本であるが、水密性の調査は各調合の代表柱(表-2参照)で行った。各調合3本の柱の平均的な隙間の大きさは、普通コンクリートを100とした場合、MC系、AL系は43、9になる。写真-1は隙間の状況を、採取したコアで示した。

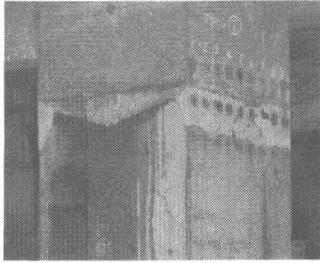


普通コンクリート
ノンブリーディングコンクリート
膨張コンクリート

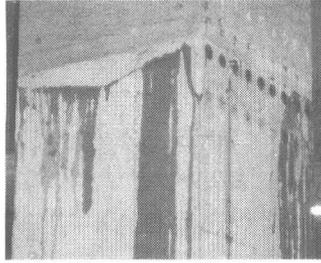
写真-1 打継ぎ部の隙間の状況

注入量から逆算した値に近い隙間が観察された。隙間は添加材を使用することで小さくできるが、完全に無くすことは困難である。このような隙間の発生は、MC系についてはブリーディングはないが初期の圧密沈下の影響が、AL系ではブリーディングの影響が主原因と考えられる。

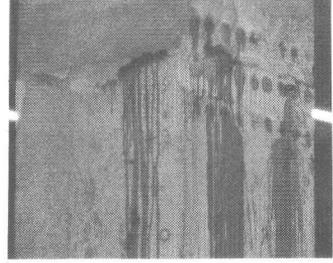
コアを採取した3本の柱(表-2参照)の、ペースト注入前の注水テスト結果を写真-2に示す。これによると、殆ど圧力を加えていないにもかかわらず、周辺からの漏水が多い。注入処理後の結果は写真-3である。注入処理後は各柱とも2kgf/cm²の注水圧を数分加えたが漏水は少なく、水密性は非常に改善されている。注入処理後の柱では、当初隙間が最も小さかった膨張コンクリート(平均的隙間の大きさが0.7mm)に漏水が多く認められた。これは、隙間が小さすぎたため、ペーストが密実に注入されなかったことが原因と考えられる。筆者らの今までの研究²⁾によると、ペーストが有効に注入されるためには、隙間が小さすぎても大きすぎてもよくなく、3~5mm前後の大きさが適当であることが判明している。これは、隙間が小さすぎるとペーストが十分隅々まで浸透しないことと、途中の圧力ロスが大きく、有効に余剰水を圧密脱水しないためである。また、隙間が大きくなるとペーストへの加圧力は大きくなるが、水分の多いペーストボリュームが大きくなり、排水口に近い部分は脱水されるが、内部のペーストの余剰水の脱水が不十分で、部分的に上下コンクリートの一体性が低下する所ができるためである。



①普通コンクリート

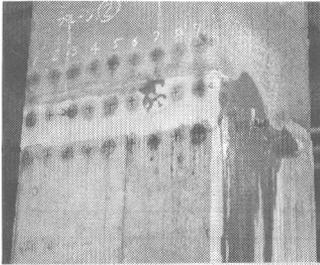


②ノンブリージングコンクリート

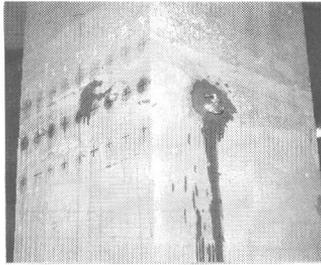


③膨張コンクリート

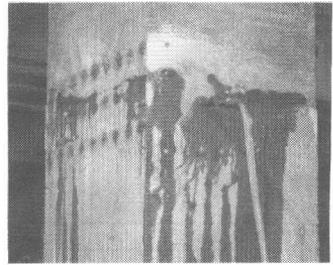
写真-2 直接法の水密性



①普通コンクリート



②ノンブリージングコンクリート



③膨張コンクリート

写真-3 注入法の水密性

3. 打継ぎ部の水密性改良のための実験

新注入法は直接法と較べるとかなり水密性が高くなることが判ったが、より水密性を向上させるため、打継ぎ部にシール材を併用する方法を考案し、実験的に調べた。ここでは、まず室内実験でその効果を調査した後、実建物の地下外周壁を使ってその水密性改善効果を確認した。

(1) 実験方法

室内実験は図-3に示す試験体(逆打工法で製作)によって、 0.2kgf/cm^2 の水圧をかけ約1ヵ月の漏水実験を行った。水密性を高めるために、利用したシール材料は①鉄板、②非加硫ブチルゴム、③水膨張性ゴムであり、比較のため新注入法のみの場合、ワイヤーブラシによるレイタンス処理を行った順打継ぎの場合を調査した。また、各シール材料に新注入法を併用した場合の試験体も作成した。実験に用いたコンクリートの調合を表-3に示す。

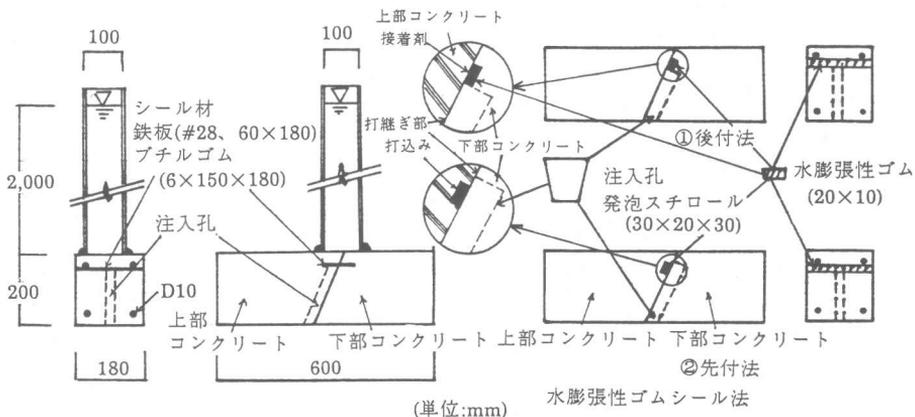


図-3 漏水実験用試験体

室内実験結果を参考にして、図-4に示すような実物の地下外周壁を利用して水密性の改良効果を調査した。地下の土留め壁はφ600mmの鋼管柱列であり、柱列間はソイルパイルによる止水壁となっている。逆打コンクリート壁は厚さ190mmであり、下部コンクリートの打込み高さは約2mである。コンクリートの調合を表-4に示す。比較実験用として採用した打継ぎ処理法は大別すると以下の3種類である。①ドリルによる従来型注入法²⁾、②新注入法、③新注入法に水膨張性ゴムシール材併用法(先付法、後付法の2ケース)。水膨張ゴム併用工法を試験候補としたのは施工性がよく、現場での実用性が高いためである。

実験は打継ぎ処理後、逆打コンクリートと土留め壁の間に図-4に示す方法で空気を送込み、ソープ法(石鹸水を打継ぎ部に塗り、泡の発生状況から漏気を調べる方法で、漏水の事前チェックができる)により漏気状況を調べた。送気パイプ(φ14mm)は約2mピッチで取付け、ダイヤルゲージで壁の変形を観察した。注水実験は、この送気パイプを利用し、スパンの端部から順次水を圧入し、打継ぎ部からの漏水状況を調査した。また、試験はスパン毎(約7m)に処理法を変えて実施しており、スパン毎の漏気及び漏水カ所数をチェックした。

表-3 コンクリートの調合

| 使用材料の種類 | コンクリート | |
|----------------------------|--------------------------------|-------|
| 呼び強度(kgf/cm ²) | 240 | |
| 粗骨材の最大寸法(mm) | 20 | |
| スランブ | 18cm | |
| 空気量(%) | 4 | |
| 水セメント比(%) | 55 | |
| 細骨材率(%) | 42.6 | |
| 重 | 単位水量(kg/m ³) | 189 |
| | 粗骨材(kg/m ³) | 1056 |
| | 細骨材(kg/m ³) | 777 |
| | セメント(kg/m ³) | 344 |
| | AE減水剤or添加剤(kg/m ³) | 0.873 |

表-4 コンクリートと注入材料の調合

| 使用材料の種類 | コンクリート | 注入材料 | |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------|
| 呼び強度(kgf/cm ²) | 270 | — | |
| 粗骨材の最大寸法(mm) | 20 | — | |
| スランブorフロー値 | 18cm | 12sec(ポート) | |
| 空気量(%) | 4 | — | |
| 水セメント比(%) | 50 | 50%(w/c+T ^{**}) | |
| 細骨材率(%) | 47.0 | — | |
| 重 | 単位水量(kg/m ³) | 194 | 605 |
| | 粗骨材(kg/m ³) | 913 | — |
| | 細骨材(kg/m ³) | 786 | — |
| | セメント(kg/m ³) | 388 | 1,084 |
| | AE減水剤or添加剤(kg/m ³) | 0.776 | 136** |
| 4週圧縮強度*(kgf/cm ²) | 357 | 456 | |

* 外気水中養生(3体平均) ** 添加剤(CSA系)

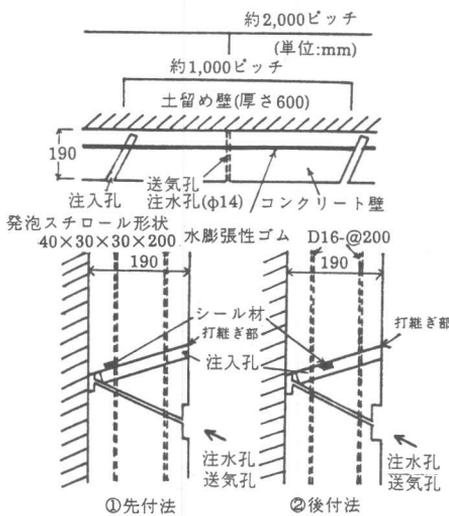
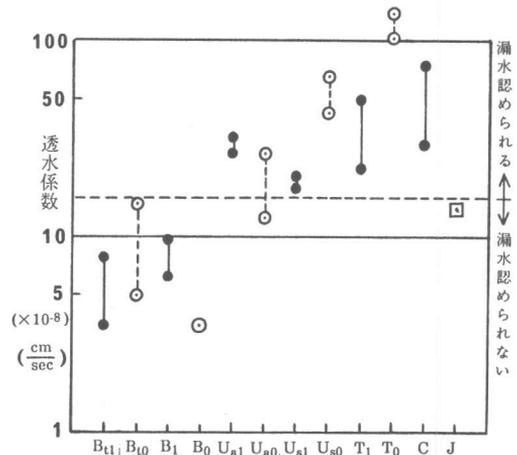


図-4 水密性調査壁の概要



処理法記号
 B₁₁:ブチルゴム鉄芯入り(注入法併用) B₁₀:ブチルゴム鉄芯入り
 B₁:ブチルゴム(注入法併用) B₀:ブチルゴム
 U_{a1}:水膨張性ゴム後付法(注入法併用) U_{a0}:水膨張性ゴム後付法
 U_{s1}:水膨張性ゴム先付法(注入法併用) U_{s0}:水膨張性ゴム先付法
 T₁:鉄板(注入法併用) T₀:鉄板 C:新注入法 J:順打継ぎ

図-5 各処理法の透水係数比較(室内実験結果)

(2) 実験結果と考察

図-5は室内実験結果を示したもので、コンクリートの乾燥差の影響を小さくするため30日間の平均透水係数を図示した。試験結果はバラツキがあるため、2体の試験結果をそのまま範囲として示した。これから順打継ぎの透水性を1とした場合、新注入法では約3.7倍、鉄板入りで2.5~8.6倍、水膨張性ゴム後付法で1.0~2.1倍、先付法で1.4~3.9倍、鉄芯無しブチルゴム入りで0.3~0.6倍、鉄芯入りブチルゴムでは0.4~0.7倍となった。水密性の高くなる処理法ほど、透水係数差がは小さくなる傾向が認められる。また、順打継ぎより小さい透水係数のものは裏面からの漏水の形跡は認められなかったが、他の処理法では肉眼観察からも漏水が認められた。鉄板によるシールは水密性が悪く、注入法を併用することが望ましい。これは、コンクリートと鉄板が肌分かれし、完全な接着状態を確保できないためと考えられる。水膨張性ゴムの場合、上部コンクリート底面に先付けするのみでは、水密性はよくない。この場合も注入法を併用する必要がある。これは、下部コンクリートの沈降により隙間が生じるため、水と接触して膨張し、水密性を確保するまでに時間がかかるとともに、隙間が大きくなりすぎると、十分な水密性の確保が困難になるためである。ブチルゴムを入れた打継ぎは、注入法を併用しなくても順打継ぎ以上の水密性が得られる。これは、主材料の生ゴム中のカルボキシル基とセメント中のCaOが反応し、イオン結合するため⁵⁾、コンクリートと化学的に一体性のあるシールができたためと考えられる。

実際の地下外周壁を利用したソープ法による漏気テスト結果を図-6に示す。漏気の程度は肉眼観察から気泡径の大小で判断できる。即ち、漏気が少ない場合には気泡径は小さく、漏気量が多くなる程気泡は大きくなる傾向があるが、各圧力毎にその発生カ所数を調べた。気泡は圧力の増加にともなって成長するものと、新たに発生するものがあるが、大小合わせて総漏気カ所数で単位幅当たりの発生数をグラフ化したものが図-6である。この結果から、注入孔をドリルで削孔する従来タイプの注入法では、隙間が極端に多いことがわかる。新注入法はこれに比べてかなり改

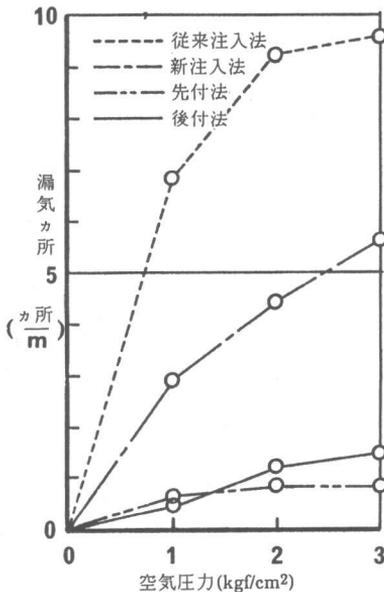


図-6 空気圧と漏気の関係

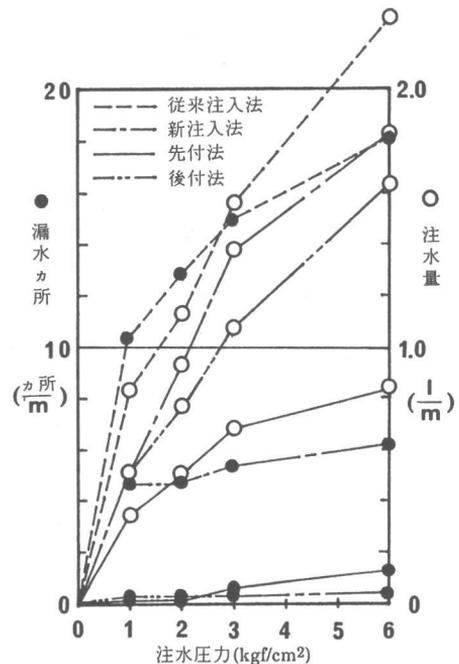


図-7 水圧と注水量及び漏水の関係

善されているが、水膨張性ゴムを併用する処理法が最も改善効果が高い。壁面は高さ約4m、幅約7m程度であり、空気の注入による壁面中央部の変形は、3kgf/cm²の圧力で0~0.9mm程度が観察された。変形量は漏気が多くなる処理法では少なく、密閉度が高くなると大きくなる傾向が認められた。これは、空気が逃げないため壁背面に浸透し、加圧効果が出たためと考えられる。

図-7は漏水試験結果である。グラフには注入圧力と注水量(○印)及び漏水カ所数(●印)の関係をプロットしてある。注水量は水漏れの大きい従来注入法で最も多く、圧力保持も困難であった。水密性の高い処理法でも注水量がかなりあり、壁背面に水が浸透していることが予想されるが、打継ぎ部に均一な水圧が作用しているかどうかは確認できなかった。しかし、高水圧下では注入口から離れたコールドジョイントやセパレーター跡からの漏水が観察され、注入水が壁裏面に広く浸透していることが確認できた。この結果からも、地下水位が高い場合従来法は漏水が多く、このままでは使用に供し得ないが、新注入法では水密性が向上していることがわかる。シール材併用工法は注入法のみの場合より改善され効果的である。先付法と後付法の有為差は認めにくいだが、注入法を併用する場合、先付法の方が施工性がよく実用的である。これは、先付法では注入孔による止水材の連続性の欠如が少ないこと、シール材が突起物として表面に出ないため、下部コンクリートのブリージング水の排除がスムーズになるため、大きな隙間が残りにくいこと、及びペーストへの加圧脱水効果への影響が少ないこと等の利点が考えられるためである。

4. まとめ

以上の実験結果から、逆打打継ぎ部の水密性に関してまとめると次のようになる。

- 1) 直接法による処理では、ノンブリージング材や膨張材のみの添加では、打込み高さが高くなると隙間が発生し、水密性を確保することは困難である。(写真-1~3参照)
- 2) 注入法による場合、ドリル孔を利用して注入する従来法では水密性を確保するのは困難であるが、新注入法は従来法より高い水密性(10~10⁻⁷cm/sec程度)が期待できる。(図-5、7参照)
- 3) 水密性向上のために、打継ぎ部にシール材を用いることは効果的である。この場合、ブチルゴム系のものが最も効果的であるが、施工性を考慮すると水膨張性ゴムが使いやすい。水膨張性ゴム適用に際しては、新注入法と併用することが望ましく、先付法が効果的である。

謝辞、実験に際しては松本油脂(株)林文夫氏、イズミエンジニアリング藤田博司氏、(株)竹中工務店芳野辰行氏他作業所の方々に多大な御協力を頂いた。ここに慎んで感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 高幣喜文 : 逆打工法における柱の打継ぎ処理法に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、昭和63.5、pp.15~23
- 2) 高幣喜文 : 逆打工法における注入法打継ぎ処理に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、昭和63.9、pp.19~26
- 3) 高幣喜文、両角昌公、宮内靖昌 : 逆打工法における柱打継ぎ部の力学性状に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、昭和63.11、pp.1~10
- 4) 村田二郎 : コンクリートの水密性の研究、コンクリート・ライブラリー第7号、(社)土木学会、1963.6、PP.1~35
- 5) 越智光一、北野隆、新保正樹 : ゴム系シーリング剤とセメントの接着機構、第15回接着研究発表会講演集、日本接着協会、昭和52.8