

飛来塩分量の特性と測定方法

片 脇 清 士*
 守 屋 進**
 箕 作 光 一***

1. ま え が き

最近、東北・北陸地方および北海道の日本海側ならびに沖縄県の海岸線付近に位置する供用後 10~20 年程度の一部コンクリート橋において、飛来塩分に起因するコンクリート内部の鋼材の発錆・腐食が見られるようになり、道路管理上の大きな問題となっている。

このような現象は周知のとおり、塩害と呼ばれているが、塩害にはこのほか、海砂の使用によるもの、また欧米各国で重視されている凍結防止剤散布によるものなどが挙げられる。わが国では、昭和 57 年に実施されたコンクリート橋の実態調査の結果、明らかに塩害による損傷あるいは、その徴候が見られた橋梁の数に地域的な偏りが認められたこともあって、上記のように飛来塩分による塩害が重視されている。

このコンクリート橋の塩害問題に対しては、昭和 59 年 2 月に主に新設橋を対象とする「道路橋の塩害対策指針(案)」が通達され、当面取るべき措置が示された。ただし、塩害問題が今日のように十分に認識され始めてから比較的、日が浅いこともあって調査および検討資料が不足していたため、同指針(案)は暫定的なものとなっている。

このため現在、関係各方面で損傷原因の定量的究明、損傷程度の評価手法ならびに補修方法等について広範な検討が進められている。

飛来塩分量の定量的把握は、その中において特に重要であることが認識され始めており、また実際に測定される機会が増加している。

建設省では、以上のような状況を踏まえ、主に上記指針(案)の中で示されている地域区分、対策区分の見直しを図ることを目的に昭和 59 年度から 3 年計画で全国数百か所の地点で飛来塩分量の継続的な測定を行う予定にしている。

この調査の詳細については改めて別の機会に報告することとし、本小文では、実際に飛来塩分量の測定を行

うとされる方々の今後の参考になるように、特に次のような点を中心に記述することにした。

① 飛来塩分量の特性

② 飛来塩分量の測定方法

①については既往の調査例に基づいて飛来塩分量とその量に關係する各種要因とのおおまかな關係を、②については従来から使用されていたガーゼ法(JIS Z 2381)に代わって今回の全国調査を実施するにあたって考案した土研法を紹介する。

2. 飛来塩分量の特性

冒頭でふれたように塩害による損傷は、海より飛来した塩分がコンクリート構造物の表面に付着、コンクリート中に浸透し、鋼材の酸化皮膜を破壊し、水分および酸素の供給があって内部の鋼材が発錆・腐食することによって生じるが、その最終的な鋼材の発錆・腐食に至る過程においては、表—1 に示すように種々の要因が複雑に絡み合って作用している。

たとえば、ここで取り上げる海塩粒子の発生および飛来過程に限定しても、気象条件、海象条件、海岸線からの距離、海面からの高さ、海岸線との間の障害物の有無およびその程度、海岸の形状等の多くの要因によって影響を受ける。

まず、海塩粒子の発生量は、直接的には気象・海象条件によって左右されるが、海岸の形状(海浜、岩礁、テ

表—1 コンクリート構造物の塩害に影響を与える
 主な要因¹⁾

過程	海塩粒子の発生 および飛来	付 着	浸 透	鋼材の腐食
要因	1. 気象条件 2. 海象条件 3. 海岸状況、 地形、海岸 線からの距 離	1. 構造物の 形状 2. コンクリ ート表面 状態	1. コンクリ ートの健全度 2. コンクリ ートの密実性 3. 供用年数	1. 鋼材のかぶり 2. 鋼材の種類 3. コンクリ ートの密実性 4. 供用年数 5. 温度・湿度

* Kiyoshi KATAWAKI
 建設省土木研究所
 地質化学部化学研究室主任研究員

** Susumu MORIYA
 建設省土木研究所
 地質化学部化学研究室建設技官

*** Koichi MINOSAKU
 建設省土木研究所
 構造橋梁部橋梁研究室研究員

トラポットの有無および配置)によってもかなり異なる。一般的には遠浅で砂浜を有する海岸よりも岩礁やテトラポットが配置されている海岸の方が波浪が高く、波しぶきが生じ易いため海塩粒子の発生量が多い(図-1参照)。

発生した海塩粒子は、そのほとんどが風に乗って運ばれるが、風向、風力、海岸線からの距離、海面からの高さ、障害物の有無等によって、ある地点に飛来する量が決定される。

海岸線からの距離との関係についてみると、海岸線との間に家屋などの遮へい物が存する場合を除いて、一般的に粒径の大きい海塩粒子が数百m、また細径のものは数km離れた地点まで到達することが明らかになっている。なお、海岸線近くではゲル状やミスト状であり、海岸線から離れるに従って固体状の塩分の割合が多くなっている。

たとえば、海岸形状が荒磯型(岩礁またはテトラポットが配置されている場合)で地形が平坦なある地点での観測によると、飛来塩分は図-2に示すように600m程度までかなり多く、また4000m離れた位置にまでも飛来することが確認されている。

海面からの高さに関しては、現状では明確な関係が見出されていないが、地形の影響をかなり受け、山が海に迫っているような場合は、風の勢いが弱まらず、相当高い地点にまで多量の塩分が飛来することがわかってい

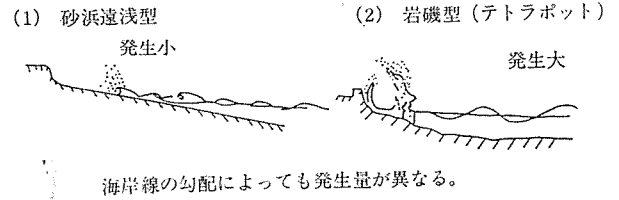


図-1 海岸勾配による変化

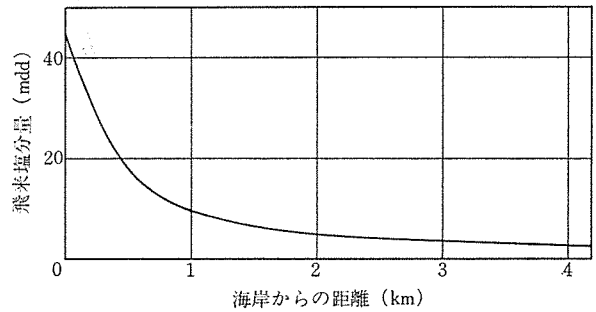


図-2 飛来塩分量と到達距離の例

る。

また、飛来塩分量と卓越風向の関係については、北西の季節風が卓越する地域は飛来塩分量が多くなっていることが、前記の実態調査結果に基づく全国の損傷状況を表わした図-3と全国の卓越風向を表わした図-4を比較することにより認められ、卓越風向は飛来塩分量の推定で一つの指標になり得るものと考えられる。ただし、図-4から明らかなように隣りあった地点でも卓越風向が異なるばかりでなく、一般に地形が急峻で複雑なわが

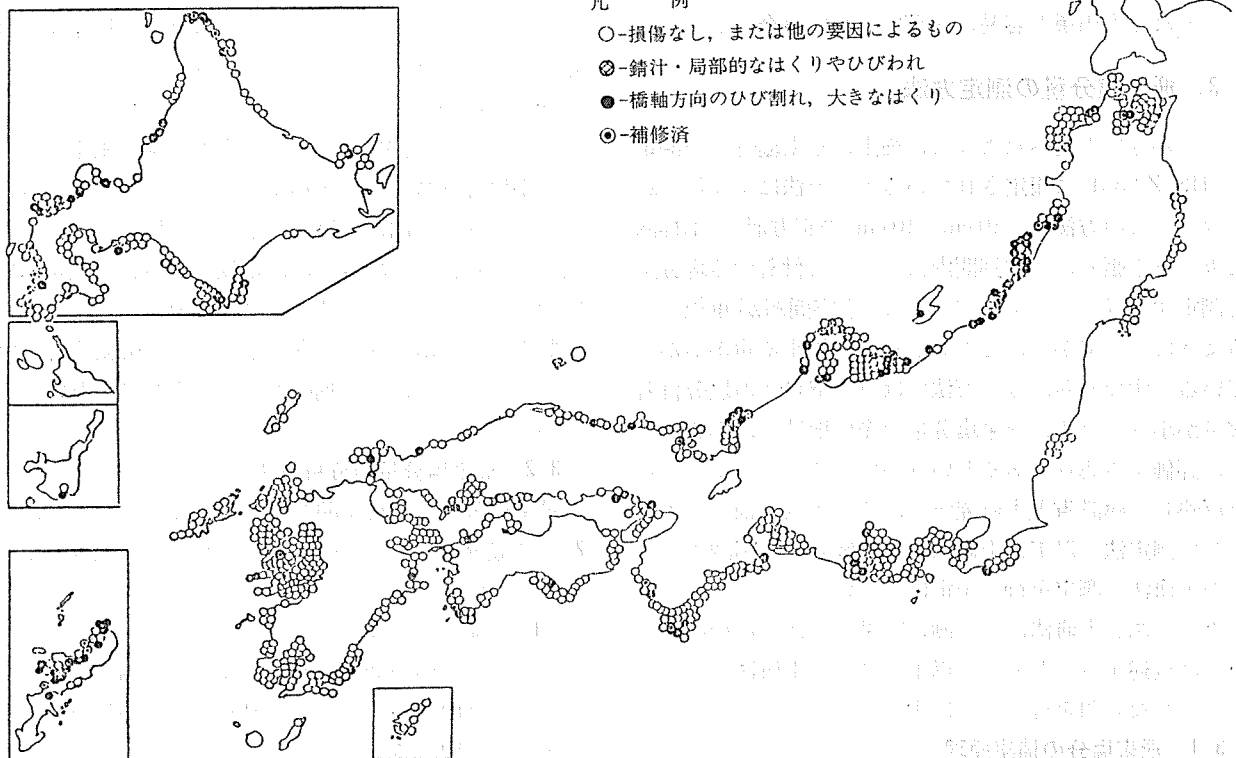


図-3 コンクリート橋の損傷状況



図-4 卓 越 風 向 図

国では、同じ風向であっても直接、塩害と結びつく海風か、それとも山風か容易に区別できない場合がある。

3. 飛来塩分量の測定方法

まえがきでも述べたように、従来、飛来塩分量の測定は JIS Z 2381 に規定されているガーゼ法により行われてきた。この方法は、10 cm×10 cm の正方形の木枠内にガーゼを張り、一定期間内にガーゼに付着する塩分量を測定するものである。しかし、塩害問題が重視されるようになってから、この方法を疑問視する声があがっている。すなわち、ガーゼ法ではガーゼ自体の塩分付着容量が小さいため、飛来塩分量の多い地域では実態を過小に評価する恐れがあるというのである。このような声を反映して建設省土木研究所ではその欠点を補うために新しい測定法（以下、土研法）を考案し、全国調査ではこの土研法で測定を行う予定にしている。

ガーゼ法と土研法による測定結果の具体的な相違については後述することとし、以下ここでは土研法についておおまかな説明を行うことにする。

3.1 飛来塩分の捕集原理

飛来塩分の捕集は、図-5 に示すような飛来塩を直接

捕集する 10 cm×10 cm のステンレス製の捕集器、シリコンホース、ポリタンク、およびそれらを格納する格納箱から構成される装置を用いて行う。

捕集の原理は、以下のとおり非常に簡単なものである。すなわち、捕集板に塩分を含んだ風や雨水があたると飛来塩分はステンレス捕集器からシリコンホースを通じてポリタンク内に貯留される。この場合、ステンレス捕集器に残留した塩分は、測定期間の最後に蒸留水で洗い流すことによってポリタンク内に導く。このようにして貯えられたポリタンク内の水量と、塩分濃度を測定することによって、ある期間内の飛来塩分量を測定することができる。

3.2 飛来塩分量の分析方法

飛来塩分量の分析手順を以下に記述する。なお、表-2 には塩分量測定で一般に用いられている電位差滴定法を示している。

(1) 前 処 理

ポリタンク内の液量 (V) を ml まで測定する。次にポリタンク内の液をよくふり混ぜ、その一部をピペットで正確に分取する。

(2) 分 析

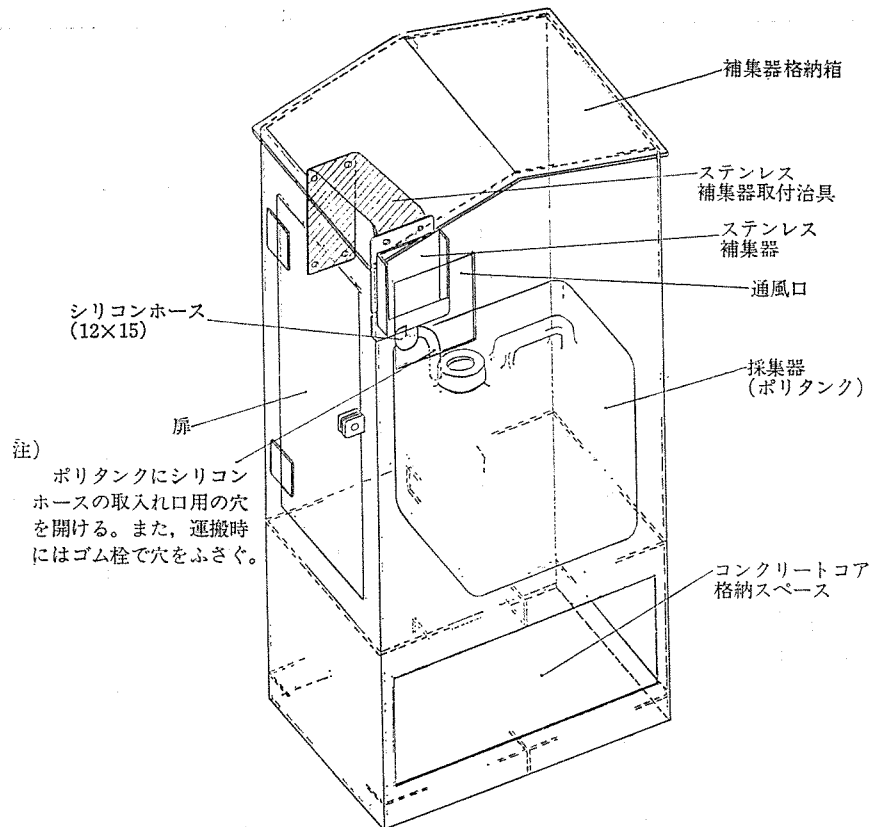


図-5 土研式塩分捕集器概略図

表-2 電位差滴定法による塩分量分析方法

- (1) 概要
溶液中（抽出水中を含む）の塩分量の定量分析方法である。
- (2) 器具
 - 1) 自動電位差滴定装置（塩素イオン選択性電極および飽和甘氨酸電極）
 - 2) マグネチックスターラー
 - 3) ビーカー
 - 4) ホールピペット
 - 5) 天秤（感量 0.01 mg）
 - 6) 乾燥器
 - 7) デシケーター
- (3) 試薬
 - 1) 1/200 規定硝酸銀溶液 試薬特級硝酸銀 0.85 g を水に溶かして 1 l にする。
 - 2) 1/200 規定塩化ナトリウム溶液 標準試薬塩化ナトリウムを 120°C で一昼夜乾燥させたものをデシケーター中で放冷し、0.29221 g を正確に 0.01 mg まで測り取り水に溶かして 1 l にする。
- (4) 操作
 - 1) 測定
ポリタンク内の液よりホールピペットで 20 ml をビーカーに分取し、自動電位差滴定装置に設置する。分取液をマグネチックスターラーでかくはんしながら硝酸銀溶液を滴下し、滴定終了後、電位差の記録より電位差が最大になったときを終点とし、それまでの滴下量を滴定量とする。
 - 2) 1/200 規定硝酸銀溶液の力価の決定
1/200 規定塩化ナトリウム溶液 20 ml をホールピペットでビーカーに取り、以下 (4) 1) と同様の操作を行う。
- (5) 結果の表示
溶液中の塩分量 (mg) = $1.461 \times 10^{-3} \times f \times v_1 \times V$
ここに
 v_0 : 力価 f の決定に要した硝酸銀溶液 (ml)
 v_1 : 試料溶液の測定 (4) 1) に要した硝酸銀溶液 (ml)
 V : ポリタンク内の液量 (ml)
 f : 1/200 規定硝酸銀溶液の力価

$$f = \frac{a}{0.29221} \times 20 \times \frac{1}{v_0}$$
 a : 秤り取った塩化ナトリウム量 (g)

モール法あるいは電位差滴定法により塩分量を測定し、ポリタンク内の液量の測定結果とあわせて、ポリタンク内の塩分量 (W) を計算する。

(3) 表 示

一般的には日平均飛来塩分量を mdd で表わすことが多い。なお、日平均飛来塩分量は下式に従って算出できる。

$$\begin{aligned} \text{日平均飛来塩分量 (mdd)} \\ &= W \times \frac{1}{\text{調査日数}} \\ &\quad \times \frac{1}{\text{ステンレス捕集器表面積 (dm}^2\text{)}} \end{aligned}$$

(注) $1 \text{ dm}^2 = 0.01 \text{ m}^2$

4. 飛来塩分量の測定例²⁾

飛来塩分量の測定例として、海岸線より内陸側の A 地点（東京湾岸）と海岸線上の B 地点（東北地方日本海側）の 2 箇所で行ったほぼ一年間にわたる飛来塩分量調査結果を示し、飛来塩分量の地域的あるいは季節的な変動が顕著なことが、およびガーゼ法と土研法の測定結果の相違について述べる。

調査結果を図-6 に示している。飛来塩分量は風向、風力によって影響をかなり受けるため、その量は季節的な変動が大きいと予想されるが、この季節的な変動を鋭

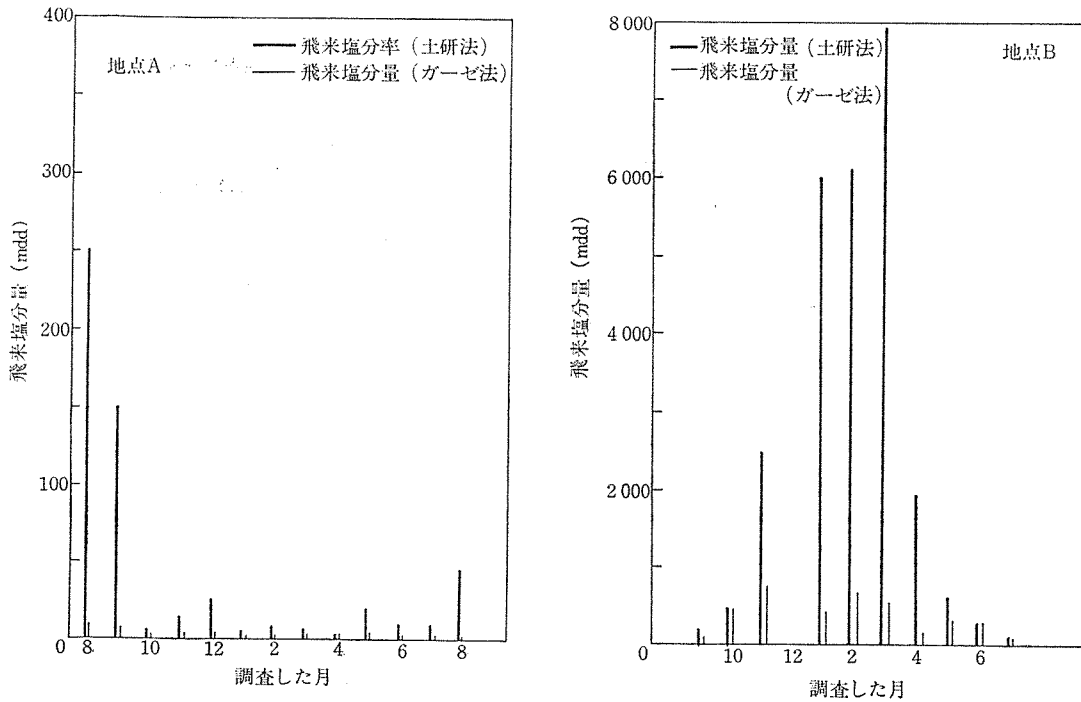


図-6 飛来塩分量の測定結果

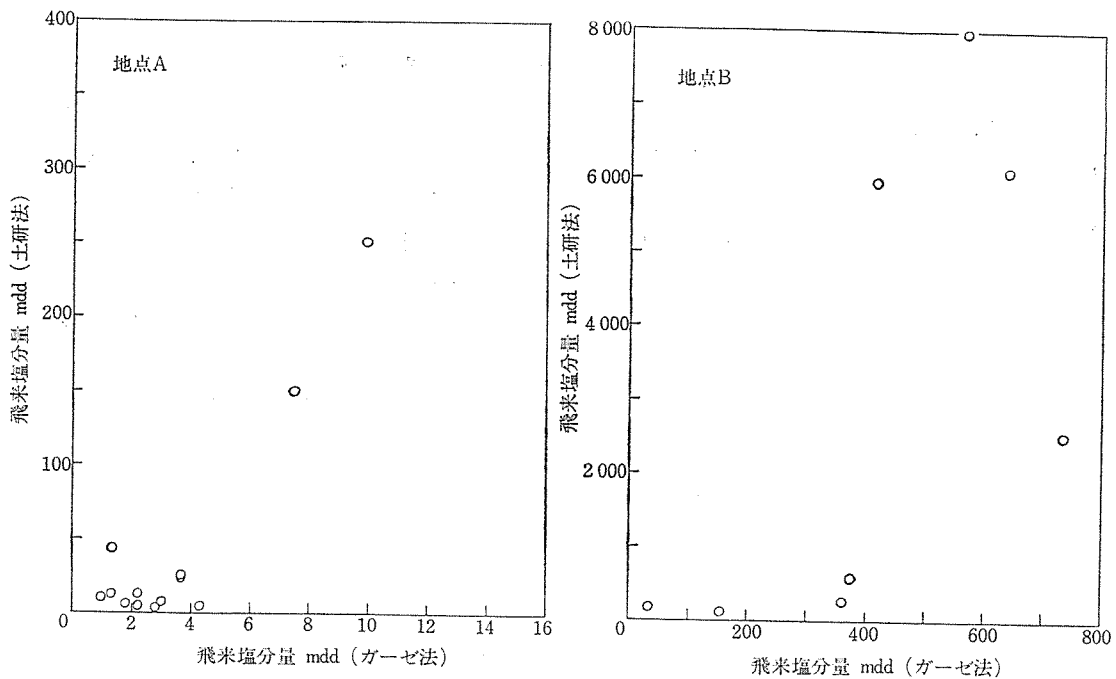


図-7 調査方法間の相関

敏に捉えていたのは土研法であった。

地点Aでは、飛来塩分量は全般的に少ない。しかし、夏季の南東の季節風や台風等の影響によって一時期に集中して塩分が飛来蓄積していることがわかる。

地点Bでは逆に冬季に飛来塩分量が集中している。これは冬季の強い北西の季節風の影響によるものと考えられる。この地点は実際に塩害による損傷が、図-3 から明らかなように多く見られており、塩害と飛来塩分量と

の結びつきが強いことを物語っている。すなわち地点Aでは日平均塩分飛来量が土研法で最大値 250 mdd であったのに対して、地点Bでは 8000 mdd にも達している。

次に土研法とガーゼ法の両者の比較を図-7に示す。地点Aでは、両者の測定法間の相関は比較的高い。一方、地点Bでは、飛来塩分量が増加するに伴いばらつきが大きくなり、両者の相関は悪くなっている。このよう

なばらつきは前記したとおり、ガーゼ法の場合には捕集能力が実際の飛来塩分量に対して小さいために、あるいは捕集能力が不安定なために生じたものと考えられる。

5. あとがき

以上、今後の塩害対策を効果的に整備するにあたって定量的な把握が重視されている飛来塩分量に関して、一般的な特性と測定方法を簡単に紹介した。

ガーゼ法は、本文中で述べたとおり、捕集能力に問題があると思われるが、非常にコンパクトな装置で測定できるという長所を有している。また、従来この方法が用

いられてきたこともあり、この方法で得られた貴重なデータも多い。したがって今後、土研法との相関を明らかにしておくことも必要であると考えている。

本小文によって塩害と密接に関係ある飛来塩分量の特性および同量の測定の重要性についての御理解に少しでも役立てば著者らの幸いとするところである。

参 考 文 献

- 1) 道路橋の塩害対策指針(案), (社)日本道路協会, 昭和59年2月
- 2) 片脇, 守屋: 海浜環境での飛来塩分, 第6回鉄構塗装技術懇談会発表予稿集, pp. 78~84, 1983年10月, 日本鋼構造協会

◀刊行物案内▶

第 23 回 研 究 発 表 会 講 演 概 要

体 裁 : B 5 判 62 頁

定 価 : 1 5 0 0 円 送 料 : 2 5 0 円

内 容 : (1) 高強度³PC³鋼より線の諸特性について, (2) PC 鋼材定着部の終局強度設計法に関する基礎的研究, (3) 逆対称曲げをうけるアンボンド PC 梁の曲げ解析, (4) アンボンド PC 梁断面の曲げ破壊耐力略算法について, (5) 横拘束コンクリートによるアンボンド PC 部材の力学的性質改善, (6) PC III 種の鉄筋応力の測定, (7) 緊張管理に関する統計的考察 (1), (8) 同前 (2), (9) プレストレストコンクリート部材の変形状に関する研究 (その IV 変形状の定量化), (10) 同前 (その V 既往の設計式との比較検討), (11) 矩形開口を有するプレレストコンクリート部材の強度と変形状に関する実験的研究 (その 1 無補強部材の性状), (12) 同前 (その 2 補強部材の性状), (13) PC 版の耐衝撃性向上に関する研究, (14) 円形スパイラル補強筋を用いたプレレストコンクリート住宅 (その 1 設計について), (15) 同前 (その 2 実験的検討), (16) PCR 工法の結合部に関する実験, (17) PRC はりの長期曲げ性状について, (18) 「特別講演」設計者の意図と PC の基本 (省略), (19) 滑りゴム沓及びソールプレートの各種確認試験, (20) SPC 合成構造による三郷浄水場, (21) プレストレストコンクリート造円筒壁の水平加力実験, (22) 長大ケーブルのグラウト注入試験, (23) 低温下に於ける RC および PC 円環体の熱応力に関する研究, (24) セグメントによるトンネルライニングの緊張システムの開発, (25) パイプレ方式による PC 桁の設計について, (26) 400 t ディビダークストランド工法の開発, (27) PC ボックスカルパートの設計施工, (28) 門崎跨道橋の設計施工の概要とたわみの測定結果, (29) 豊後橋の施工について