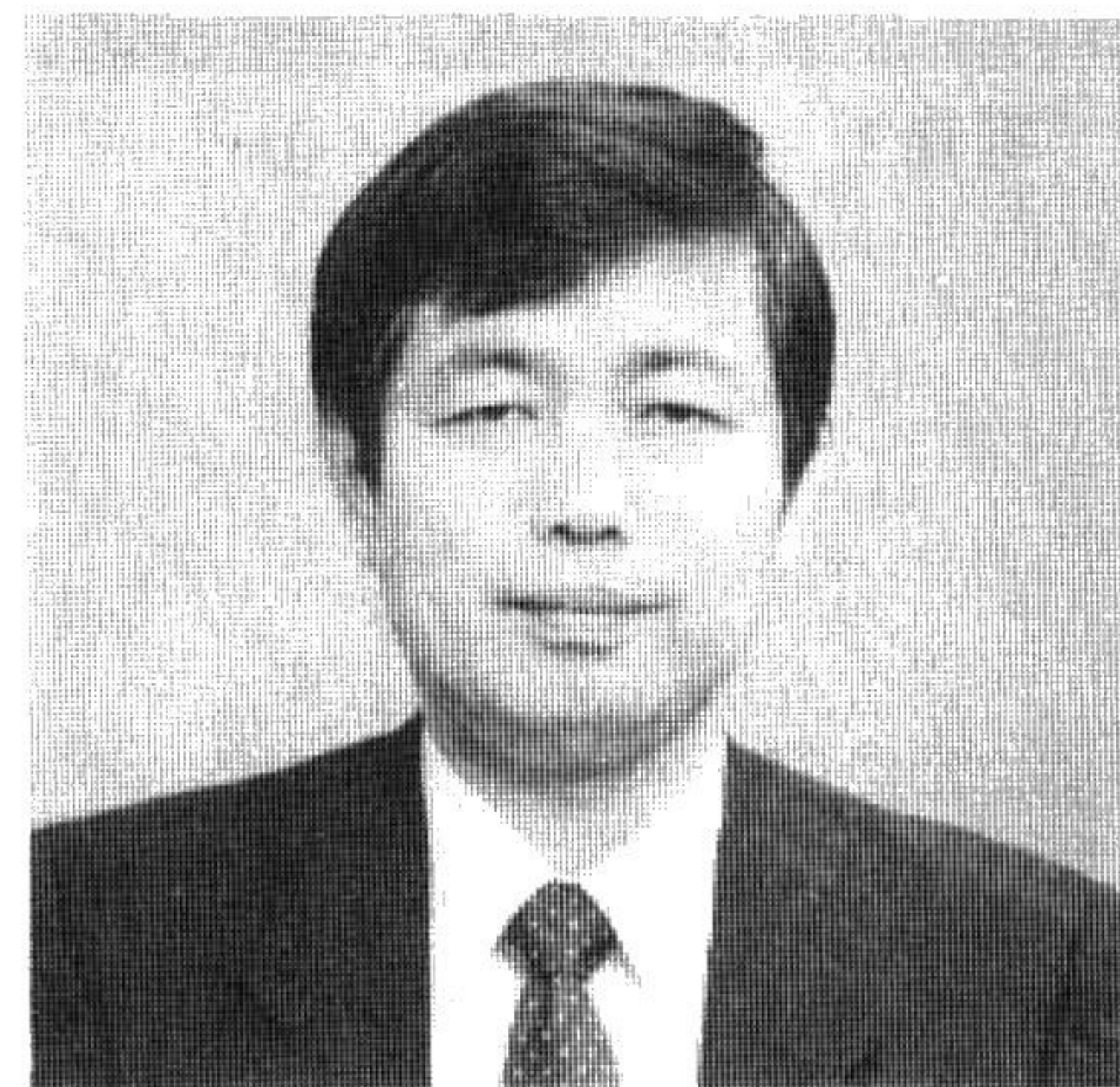


コンクリートの耐久性の向上を目指して

——大即研究室～土木工学科——

日本国内ではコンクリート構造物の多くは戦後、特に東京オリンピックがあった高度成長期に建設されている。そして今日もそれらは私たちの生活の基盤を支えてくれている。また世間では、コンクリート構造物は大変丈夫なもので、耐用年数が来るまでは絶対に壊れないと思われていた。だが、最近そのコンクリートの劣化がテレビ・雑誌等で取り上げら

れ、問題となっている。そこで、最近このように注目されているコンクリート構造物の劣化・耐久性と新素材の研究をされている土木工学科の大即研究室を訪問し、劣化と耐久性の問題を中心にお話をうかがった。研究室では、大即助教授をはじめ、鎌田助手と井上助手にもお話をうかがうことが出来た。



大即 信明 助教授



劣化とは——そのしくみと原因

コンクリートはセメントと、砂や砂利などの骨材、そして水を混ぜて作られる。また、多くのコンクリート構造物ではコンクリートの中に鉄筋が入っている。

コンクリート構造物の劣化で今日特に問題となっているのは、塩害とアルカリ骨材反応である。

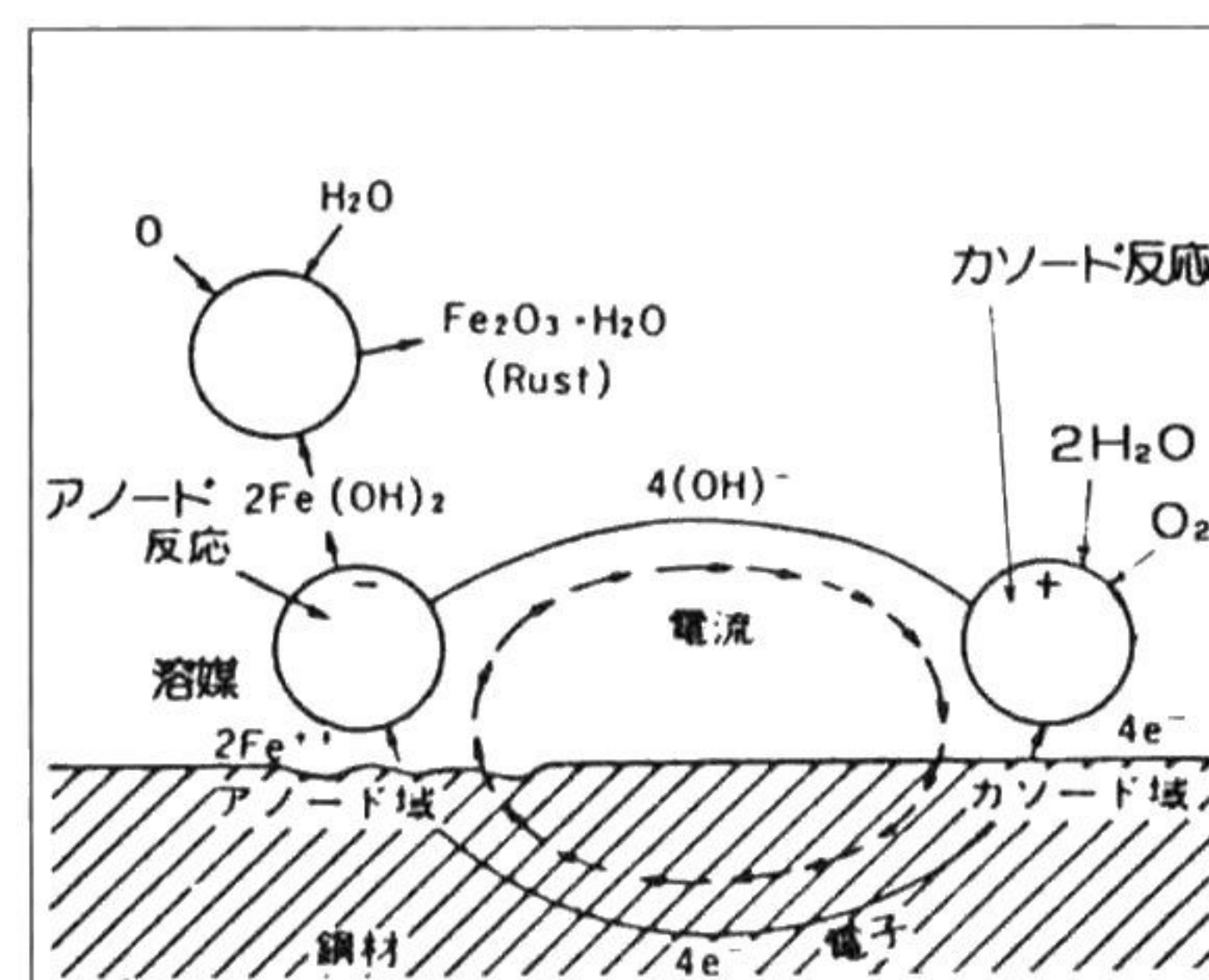
普通、コンクリート中の pH は 12 程度のアルカリ性で、中の鉄筋表面には不動態が形成されている。そのため腐食はほとんど起こらない。だが、この不動態は何らかの原因で鉄筋表面に塩化物イオンが付着すると破壊されてしまう。そして酸素と水が鉄筋表面に触れると、(図 1) に示す腐食電池が形成されて鉄筋は腐食してしまう。一度腐食が発生してしまうと、錆によって鉄筋が膨張して周りのコンクリートを押しひろげ、コンクリート表面にひびが入る。すると、ひびによって酸素と水が更に多く供給されて、腐食の速度は急激に

速くなる。そして最後にはコンクリートが剥がれ落ちてしまう。これが塩害のメカニズムである。

塩害は海から飛来する塩分によるものもあるが、骨材に海砂を除塩しないまま使用することによるものの方が多い。また北海道やアメリカの寒冷地などでは、凍結防止剤として塩化カルシウムが散布されるが、これも塩化物イオンを供給するので塩害の原因となる。

コンクリートの中性化も鉄筋の腐食の原因の一つである。空気中の二酸化炭素などによってアルカリ性のコンクリートが表面から少しずつ中性化され、それがコンクリート中にある鉄筋表面に達すると、不動態が破壊される。そこに何らかの原因で水と酸素が供給されると、前述のように腐食電池が形成されて鉄筋が腐食してしまう。

このように塩害や中性化が鉄筋の腐食による劣化であるのに対し、ア



アノード反応:



カソード反応:

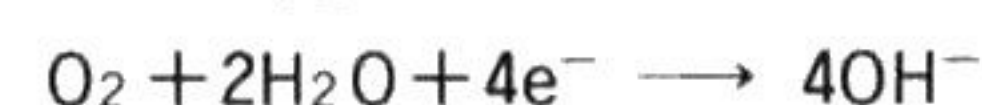


図 1 腐食電池



写真1 塩害による劣化

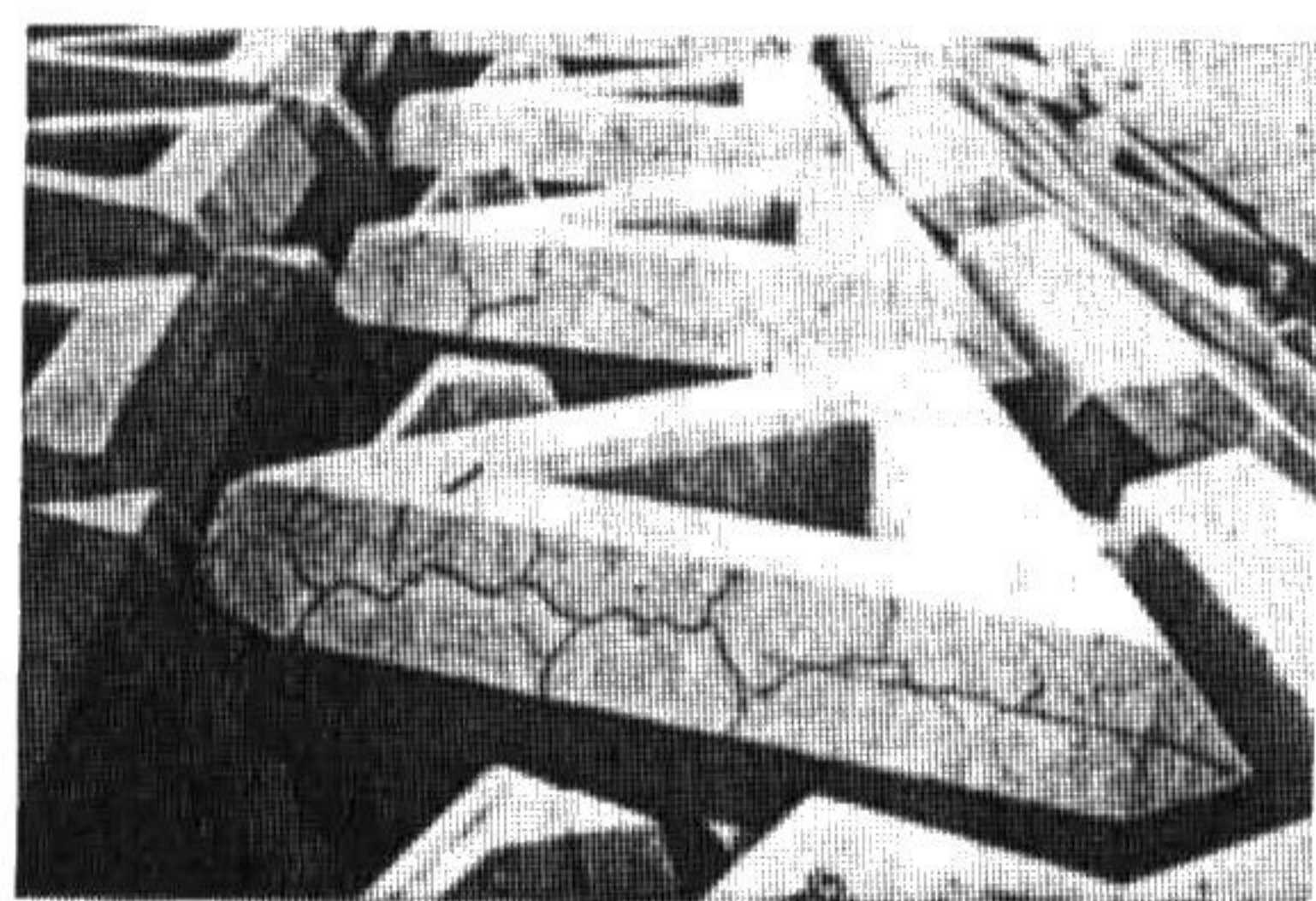
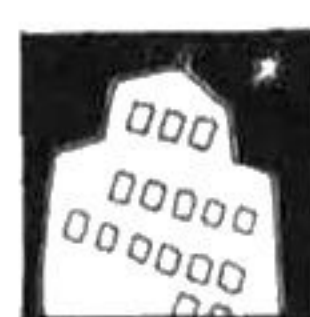


写真2 アルカリ骨材反応による劣化

ルカリ骨材反応はコンクリート自体に原因がある劣化である。骨材として山から採取した砕石を使うと、それを採取した山によっては、その中に熔岩が急冷されて出来た硝子質のシリカ（二酸化ケイ素）が比較的多く含まれていることがある。この硝子質のシリカはセメントのアルカリ成分と反応し、ゲルを生成する。ゲルが水分を吸収することでシリカとアルカリ成分の反応は促進されると同時にゲル自体も膨張するため、周囲のコンクリートを押しひろげてコンクリート表面にひび割れを作っ

てしまう。

このような劣化の原因になる海砂や山砂利を骨材として使うのは、川砂や川砂利がほとんど採掘し尽くされてしまったためである。海砂や山砂利を使い始めたのは昭和40年頃からだそうである。川砂や川砂利が劣化の原因になりにくいのは、それらが川の水で洗われているため、塩分や硝子質のシリカが洗い流されてしまい、それらに含まれていないからである。



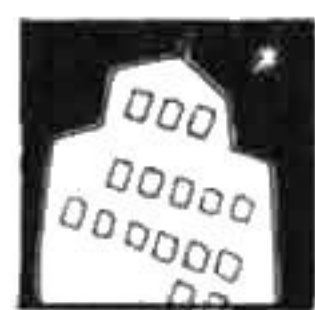
耐用年数の尺度について

このような劣化に対してどのような対策をとればよいのであろうか。大即助教授のお話によれば、現在の施工技術で、普通材料を使っても50年はもつそうである。より耐久性を上げようとする、原理的にはコンクリート表面から鉄筋までの距離を大きくし、塩分や硝子質のシリカを含まない骨材を使い、正しい施工をすればよい、ということになる。だが、このようにしてすべての構造物を最高の耐久性をもつように建設することは、工期や経済性を考えると極めて困難である。そこで各々の構造物について必要な耐用年数を考慮したうえで劣化に対する対策を考えるのである。

ところが耐用年数の明確かつ完全な尺度というのは今のところ無い。現在、地震や台風などの天災に関しては今までのデータの最大値に耐えられるように設計をしている。しかし鉄筋コンクリートが日本に入ってから約100年であり、地震などの正確なデータも大都市で過去50年ぐらいのものしかない。当然、地方によってはそれよりも少ないであろう。この

ことを考えると“耐用年数200年”などとは言えない。また、「この建物は耐用年数100年で設計された」と言われると、私達は「この建物は建設されてから100年間、絶対壊れない」と考えてしまう。だが、耐用年数100年の設計の構造物はそのような考え方で設計されるものではない。構造物の各部分が平均的に100年間耐用する、という確率分布的な考え方で設計されるものである。

このような耐用年数の考え方は現在使われている構造物が耐用年数に達していないのに劣化し始めていることから分かると思う。だが、この考え方は抽象的で分かりにくい。大即助教授は、このような現状に対して「耐用年数について十分に議論し、その明確な基準を作る。例えば耐用年数100年の構造物を建設する際、それに対応して決められた基準を満たすように最大限努力すればその構造物は100年の耐用年数を持つと言ってよいのではないか。」とおっしゃる。だが、そのような議論はされていないのが現状のようである。



施工不良からも劣化は起こる

劣化に対する1つの対策として、鉄筋の代わりにFRPという繊維の束を用いることがある。これを用いると、鉄筋の腐食による構造物の劣化の心配は無くなるが、構造物は大変高価なものになってしまう。現在はリニアモーターカーの軌道を作る際、磁気ロスをなくすためにFRPが使われている。そのほか、特殊なセメントを用いるなどの対策がなされている。

だが、いくらこのような高価で理想的な材料を使い、正確な設計をしても、実際に現場で作業をするのは全く別の人達である。その人達の中には、コンクリートやコンクリート構造物に対する詳しい知識をもたない人がいることもある。そのため作業のしやすさを優先してしまい、結果的にコンクリート構造物の品質を落としてしまう可能性もある。例えば、コンクリートを運搬したり、型に流し込む際にはミキサー車や圧送装置が使われるが、このときコンクリートは柔らかい方が都合がよい。

そのために多量の水をコンクリートに加えてしまう。ところが、多量の水を加えると、出来上がったコンクリートは密な構造ではなくなり、隙間が出来てしまう。するとその隙間から塩化物イオンや酸素、水、二酸化炭素などが入りやすくなるため、鉄筋の腐食が起こりやすくなる。

また、構造物のデザインが複雑になった場合も問題がある。例えば、曲面をコンクリートで作る際、現場で(図2)の上のように鉄筋を入れれば問題はないのであるが、(図2)の下のように鉄筋を入れてしまうと、コンクリート表面から鉄筋までの距離が小さくなるところが出来てしまい、鉄筋の腐食が起こりやすい状態になってしまう。鎌田助手はこのような施工不良を発見するためにコンクリートの内部構造を表面から透視する機器を開発したいとおっしゃっていた。これは医療分野で用いられるCTスキャンに相当するものである。

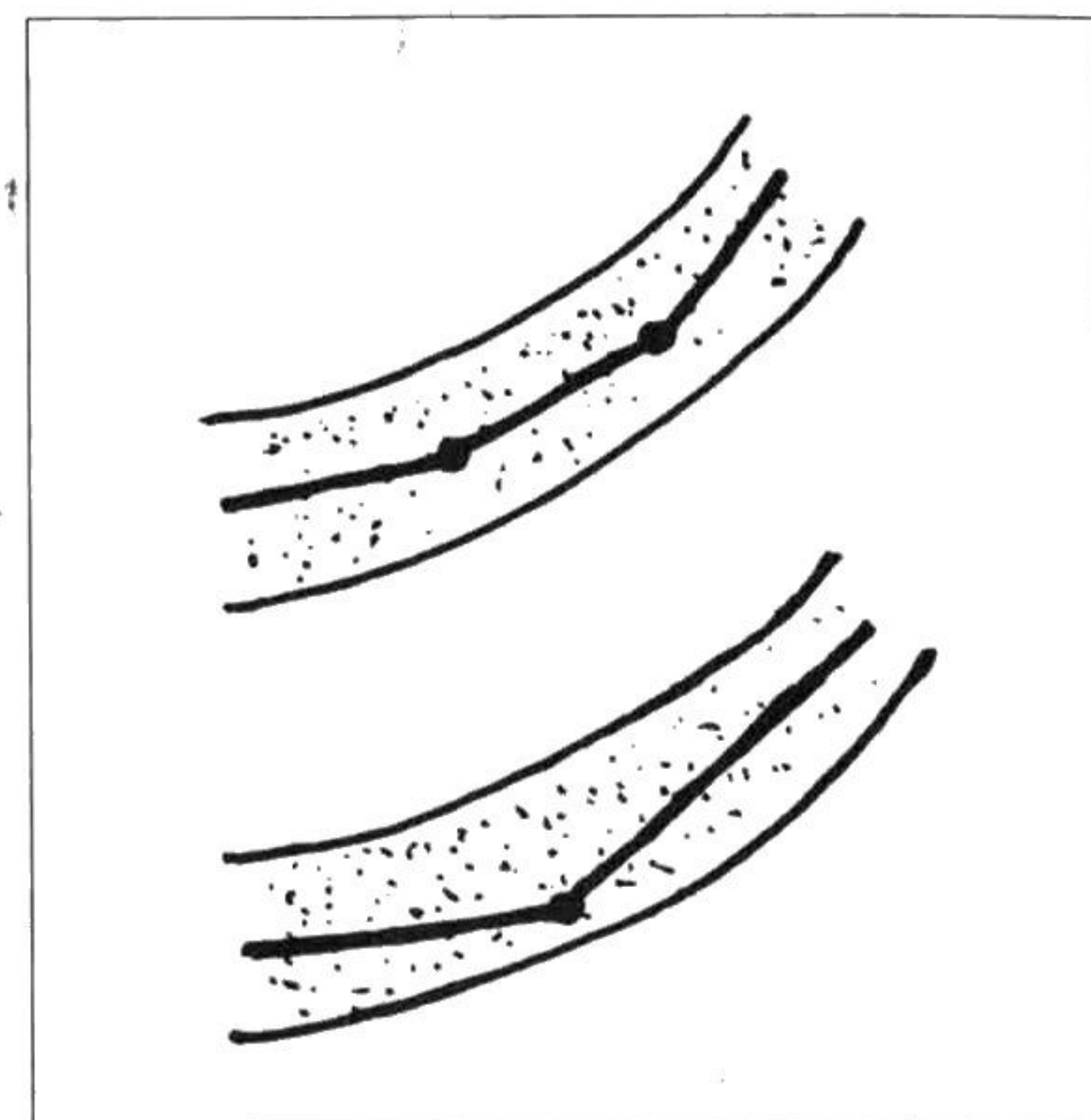
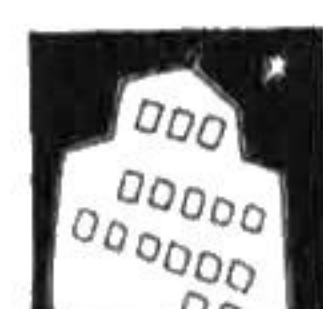


図2 曲面中の鉄筋



これからの課題——環境評価

コンクリート構造物にとって、建設現場の環境も重要である。ところが、気温などの環境データは各都市について1ヵ所くらいはあっても、各々の構造物の位置する現場のものは無い。例えば東京の環境データは都心の気象庁で観測されているが、大井埠頭に構造物を建設しようとするとき、環境の構造物への影響を知るにはそのデータのみでは不十分である。大即助教授はこれからの研究課題として、このような現場の環境評価を挙げられた。その方法として

環境データからそのコンクリート構造物への影響を間接的に評価するのではなく、現場に実際いくつかのコンクリートを設置して環境のコンクリートへの影響を直接的に評価する方法を考えられているそうである。もちろん、今まで続けて来られた地道な材料の強化も続けられるそうである。その他、現在各所でコンクリートの劣化が問題化しているため、新素材など、コンクリートに関する相談が多く寄せられるため、助教授御自身の研究に加えて、それらへの

対応にもお忙しいとのことである。

このようなお忙しい時に、貴重な時間を我々の取材のために割いて下さり、研究内容を分かりやすく説明して下さいました大即助教授をはじめ、鎌田助手、井上助手に感謝申し上げますとともに、今後より一層のご活躍を期待します。

(戸木田)