

2章 道路橋の塩害対策のレビュー

2.1 塩害のメカニズム^{2,3)}

2.1.1 塩害によるコンクリートの損傷メカニズム

塩害は、コンクリート表面に付着した塩分が内部に浸透することでコンクリート内部の鋼材が腐食し、発錆による鋼材の体積膨張によってコンクリートに剥離やひび割れが生じる現象である(図-2.1参照)。(なお、鋼材腐食については「2.1.2 鋼材腐食のメカニズム」で記述する。)

一旦コンクリートに剥離やひび割れが生じるとコンクリート中の鋼材は外気に曝され、腐食が一層促進されることになり、特に、常に高い引張応力度のもとで使用されるPC鋼材の腐食は構造物の健全性に深刻な影響を与える危険性がある。

コンクリート構造物に生じるひび割れのうち、曲げによるひび割れは抵抗する鉄筋と直角方向に、またせん断力による場合はせん断変形との関係から斜め方向に生じるのに対して、塩害によるひび割れは主として鉄筋に沿う方向に入り、ひび割れ箇所において錆汁がみられるのが(写真-2.1, 2.2参照)特徴であり、これによって他の要因による損傷とある程度区別を行うことができる。巻末の付属資料-1に参考として塩害以外の代表的な劣化現象であるアルカリ骨材反応や凍害による損傷について示す。

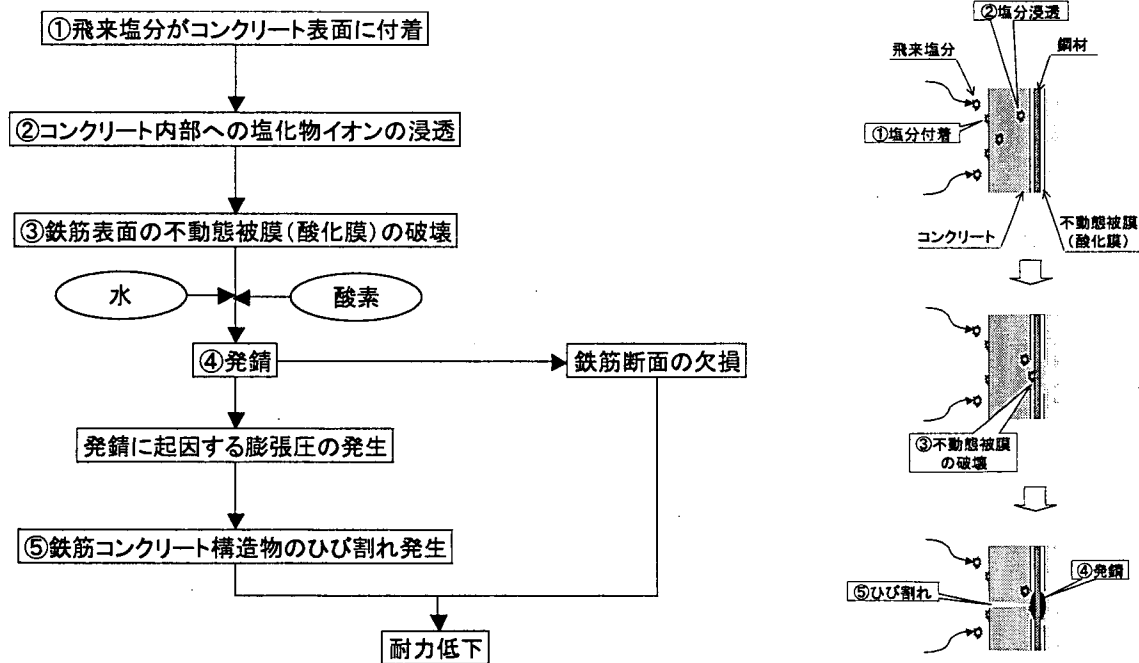


図-2.1 塩害の発生メカニズム

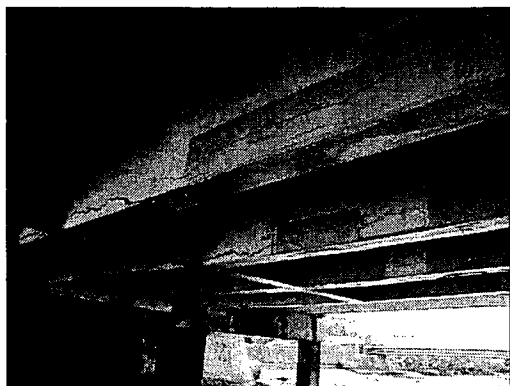


写真-2.1 ひび割れ状況 (主げた部)

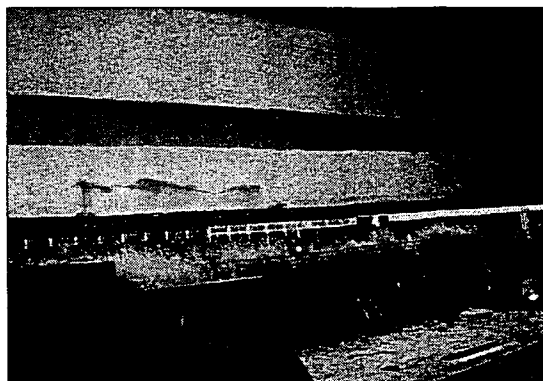


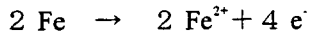
写真-2.2 錆汁状況 (主げた部)

2.1.2 鋼材腐食のメカニズム

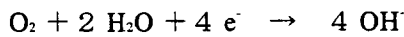
コンクリート中の鋼材の腐食は、アノード反応（陽極部の反応）とカソード反応（陰極部の反応）とからなる、電気化学的反応である。前者は鉄が溶け出す、いわゆる鉄筋が腐ることそのものであり、後者は Fe^{2+} の溶解時に残された電子を消費して鉄筋が腐る作用を側面から助けている。

鉄筋腐食のメカニズムを図-2.2に示す。

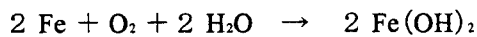
鉄筋コンクリート中に Cl^- が浸入すると、鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され、鉄がイオン化して溶出する。



一方、健全な鉄筋の部分からは OH^- が発生する。



これらの反応は互いに等しい速度で進行し、次の反応によって水酸化第一鉄ができる。



これは、溶存酸素で酸化されて水酸化第二鉄（赤さび）となる。

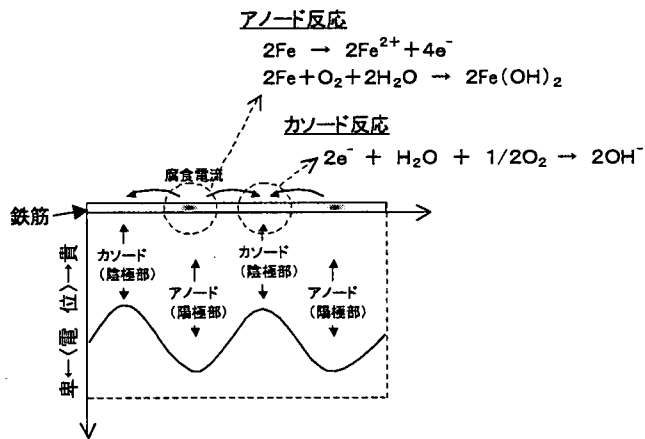
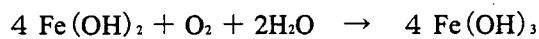


図-2.2 鉄筋腐食のメカニズム

2.2 第1回塩害調査^{2.1)} (1982年実施)

国内において1970年代半ばより、塩害による問題が深刻化し、その対応策として1984年(昭和59年)2月に「道路橋の塩害対策指針(案)」(以下、S59塩対指針(案))が通達された。ここではS59塩対指針(案)及び、1982年(昭和57年)～1983年(昭和58年)にかけて実施された塩害実態調査(以下、第1回塩害調査)の概要について記述する。(なお、詳細な報告については文献2.1)を参照されたい)

2.2.1 調査目的

この調査は、海岸部に建設されているコンクリート橋の損傷状況を調査することにより、塩害による全国的な被害の実態状況を把握し、海岸部のコンクリート橋の維持補修および設計、施工に資することを目的で行われたものであり、S59塩対指針(案)の諸規定を定める際の基礎資料となった。

2.2.2 調査方法

対象橋梁は一般国道のコンクリート橋のうち、次の条件に合致するものである。

- ① 海岸線から約500m以内に建設された橋梁
- ② 橋長15m以上の橋梁
- ③ 昭和55年度までに竣工した橋梁

調査対象機関は、各橋梁を維持管理している地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局、都道府県とした。

調査時期は、1982年(昭和57年)～1983年(昭和58年)である。調査は書類調査と目視観察を基本とし、次の項目について行った。

① 一般的事項

橋梁形式、竣工年月、設計荷重等

② 架橋位置の環境条件

海岸からの距離、気象条件等

③ 損傷状況

④ 補修状況

調査対象橋梁は全部で920橋であり、そのうち1/3がRC橋、2/3がPC橋であった。

2.2.3 調査結果

調査対象橋梁の損傷状況から損傷度を表-2.2の5ランクに分けて、損傷状況の分析を行った。

表-2.2 損傷度のランク付け

損傷度	程度の内容
1	異常なし
2	スペーサ等の錆汁が点在
3	多数の錆汁、部分的なひびわれ
4	ひびわれ、はくりが多数
5	4に加えて大きなはくり、太く長いひびわれ

(1) 地域別損傷状況

全ての対象橋梁について、損傷度別に地図上にプロットしたものが図-2.3であるが、これを見ると、北海道、東北、北陸、沖縄地方に損傷を受けた橋梁が多い。これらの地域で損傷度2以上の橋梁のうち約68%、損傷度4以上の橋梁のうち約79%を占める。

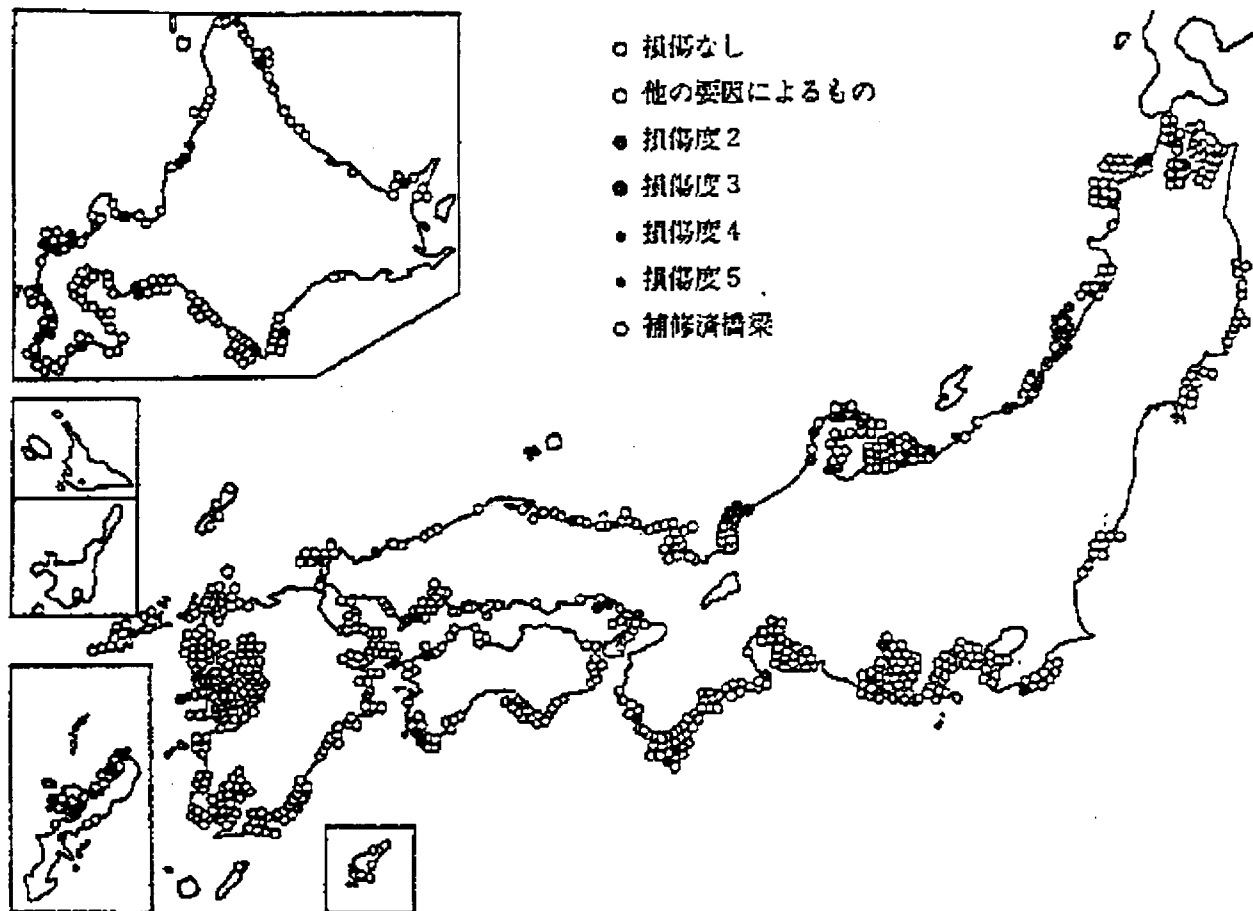


図-2.3 コンクリート橋損傷状況調査図

(2) 橋種別損傷状況

橋種別による損傷状況は以下に示す1)～3)の結果が得られた。

- 1) 地域別損傷状況を踏まえ、気象条件の厳しい北海道、東北の日本海側、北陸、沖縄を地域A、その他の地域を地域Bとして、橋種別に対象橋梁の損傷度を平均した結果が表-2.3である。
- 2) ポステン桁よりプレテン桁の損傷度の方が小さい傾向を示している。
- 3) スラブや箱桁よりもT桁の損傷度が高くなっている。

表-2.3 橋種別平均損傷度

地域分類	RC橋		プレテン橋		ポステン橋	
	T桁	スラブ	T桁	スラブ	T桁	箱桁
A	2.23	2.25	1.67	1.17	2.12	2.00
B	1.14	1.00	1.00	1.02	1.17	1.16
計	1.45	1.48	1.16	1.06	1.38	1.22

(3) 海岸からの距離による損傷状況

海岸からの距離による損傷状況は以下に示す1)～2)の結果が得られた。

- 1) 損傷度4以上の橋梁のうち53%が海岸から50m以内、約86%が200m以内に位置している(図-2.4、2.5参照。なお、グラフ化するにあたり、地域区分A・B・CはS59塩対指針(案)より引用している。)
- 2) 北海道、東北の日本海側、北陸、沖縄を地域A、その他の地域を地域Bとして、海岸からの距離帯別に対象橋梁の損傷度を平均した結果が表-2.4である。

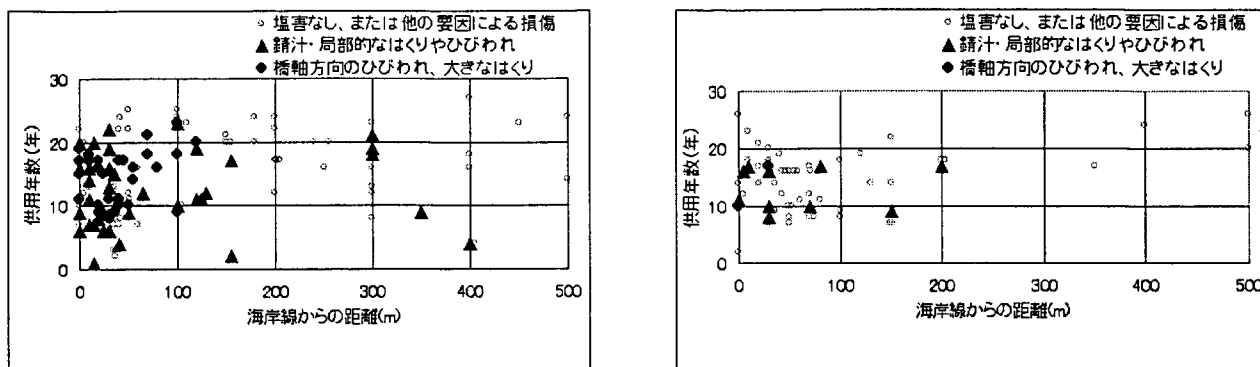


図-2.4 地域区分A・Bにおける塩害状況(左:プレテンション桁以外、右:プレテンション桁)

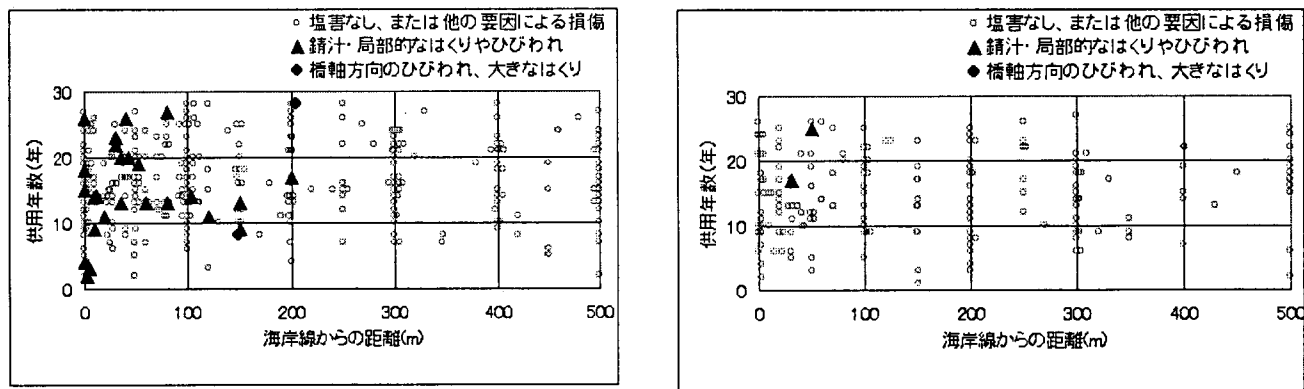


図-2.5 地域区分Cにおける塩害状況(左:プレテンション桁以外、右:プレテンション桁)

表-2.4 海岸からの距離帯別平均損傷度

地域分類	橋種区分	0m	0～50m	50～100m	100～200m	200～300m	300m以上
A	プレテン桁以外	2.75	2.32	2.60	1.50	1.45	1.33
	プレテン桁	1.80	1.33	1.21	1.18	-	1.00
B	プレテン桁以外	1.28	1.34	1.14	1.13	1.02	1.01
	プレテン桁	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00	1.03
計	プレテン桁以外	1.65	1.74	1.39	1.21	1.10	1.04
	プレテン桁	1.13	1.16	1.11	1.04	1.00	1.03

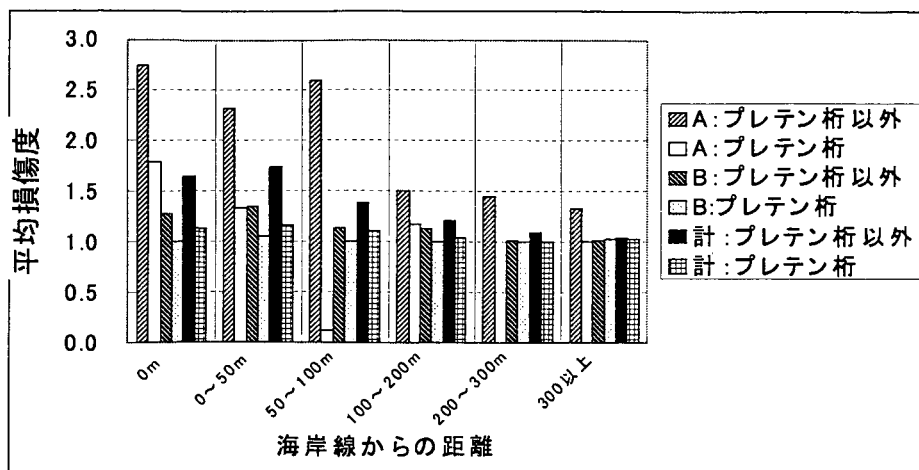


図-2.6 海岸からの距離帯別平均損傷度

(4) 補修状況

補修状況の結果は以下に示す1)、2)の結果が得られた。

- 1) 供用年数 30 年以下の橋梁で、明らかに塩害以外の原因による損傷に対して補修が行われた橋梁を除いた補修済橋梁は 38 橋であり、その補修方法の内訳は表-2.5のとおりである。
- 2) 補修の効果をみるために、補修後の損傷の進行状況を表したものが、図-2.7である。経過年数はすべて 10 年以下である。この結果から、全面もしくは一部に塗装した場合には、腐食の進行がおおむね食い止められているものと考えられている。

表-2.5 補修方法総括表

	全面塗装	一部塗装	モルタル吹き付け	ひびわれ注入パッチング	補修なし	計
鋼板接着	6	2			6	14
主筋の追加			3			3
アウトケーブル	3					3
補修なし	9	3	2	4		18
計	18	5	5	4	6	38

〔 進行度1…補修後再びさび汁がでてきたもの
 進行度2…再びひびわれ、はくりが生じたもの

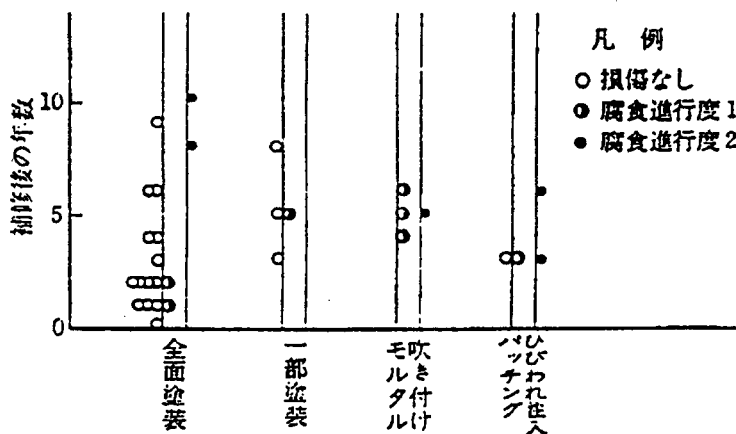


図-2.7 補修後の腐食進行状況

2.3 塩対指針(案)による主な塩害対策^{2.2)}

S59 塩対指針(案)は、1982年に行った塩害調査(図-2.4、2.5参照)を元に定められたが、対策として「塩害対策地域の明示」「海岸線からの距離に応じた塩害対策区分の設定」及び、それに伴った「地域毎にかぶりの増加」の3点が大きな特徴である。その他にも「水セメント比の制限」に関する規定等について記述されている。表-2.6、図-2.8に塩害対策を必要とする地域、表-2.7に対策区分、表-2.8にS59塩対指針(案)における最小かぶりを示す。

表-2.6 塩害対策を必要とする地域

地域区分	地 域
A	沖縄県
B	別表-1に示す地域のうち、海上部および海岸線から300mまでの部分
C	上記以外の地域のうち、海上部および海岸線から200mまでの部分

別表-1

北海道のうち稚内市、留萌市、小樽市、猿払村、豊富町、礼文町、利尻町、東利尻町(宗谷支庁)、留萌支庁、石狩支庁、後志支庁、檜山支庁、松前町(渡島支庁) 青森県のうち、蟹田町、今別町、平館村、三厩村(東津軽郡)、北津軽郡、西津軽郡、大間町、佐井村、脇野沢村(下北郡) 秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県

表-2.7 対策区分

地 域	海岸線からの距離	対策区分
沖縄県	海上部および海岸線から100mまで	I
	上記以外の範囲	II
別表-1に示す地域	海上部および海岸線から100mまで	I
	100mをこえて200mまで	II
	200mをこえて300mまで	III
上記以外の範囲	海上部	I
	海岸線をこえて100mまで	II
	100mをこえて200mまで	III

表-2.8 S59塩対指針(案)の最小かぶり (cm)

対策区分	上部構造			下部構造	
	床板下面、 地覆・高欄	けた		梁	柱
プレテンション 方式によるプレ キャストPCげ		左記以外 のけた			
I	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0
II	4.0	3.5	5.0	5.0	5.0
III	3.0	2.5	3.5	3.5	4.0

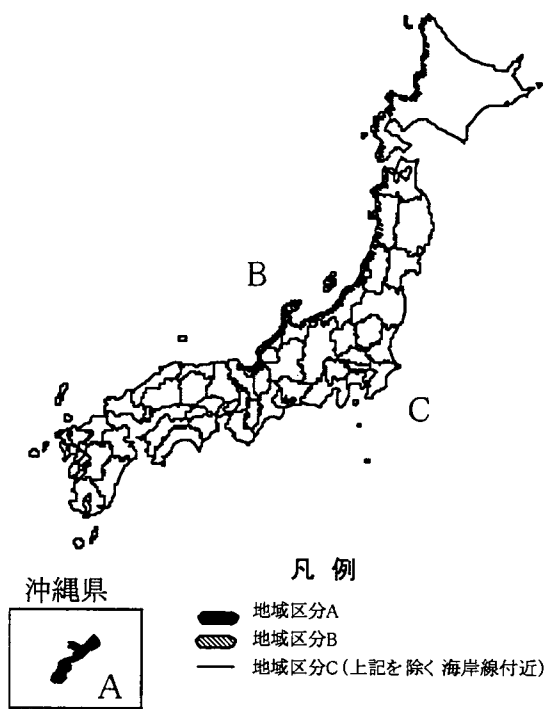


图-2.8 地域区分