

論文 SRC 防音壁構造の曲げ挙動に関する実験的研究

新山 純一*¹・岡 康博*²・寺澤 正人*³・北 倫彦*⁴

要旨: 新幹線鉄道の新設工事に際して, H鋼支柱, RC高欄及びプレキャスト版からなる防音壁構造を採用することとしたが, RC高欄とH鋼の結合において通常の方法とは異なる新しい方法を考案した。そこで構造体の破壊性状や破壊耐力などの把握を目的として実物大供試体を用いて載荷実験を実施した。研究の結果, 本構造体は「曲げ破壊先行型」の破壊性状を示すこと, 想定される設計荷重に対して十分な曲げ耐力を有すること, RC高欄とH鋼を個別の梁要素で表現するモデルを用いた平面非線形骨組解析を行うことにより実際の挙動を推定解析可能であることなどが確認された。

キーワード: SRC構造, 曲げ耐力, 構造実験, 防音壁, 平面非線形骨組解析

1. はじめに

近年, 新幹線鉄道の建設にあたっては近隣への環境に配慮して防音壁を配置する傾向にある。防音壁の構造としては種々のタイプのもが適用されるが, 我々は新幹線鉄道新設工事に際して図-1 に示す様なRC高欄に一定間隔にてH鋼を建込み, H鋼間にプレキャスト版を抱き込むタイプの防音壁構造(以下「H鋼支柱式防音壁」と呼ぶ)を採用することとした。

この様な構造においては一般的にH鋼はその下端をボルト固定する等の方法により高欄内部に固定されるが, 施工の合理化などを目的として, 図-2 に示す様にH鋼ウェブに孔(φ 21mm)を開けこれに水平補強筋(D16)を貫通させることによりRC高欄と結合する構造を考案した。

しかしながら, この様な構造(SRC構造)はこれまでのところ採用された実績や研究事例がないことを考慮して, 構造体の破壊性状や曲げ耐力などの把握を目的とし防音壁構造の一部を取り出した実物大供試体に対して静的載荷実験を実施した。

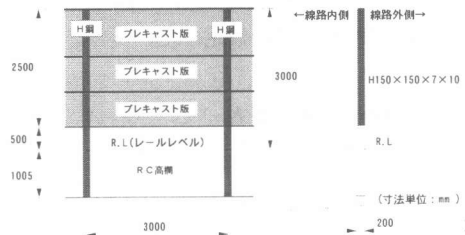


図-1 「H鋼支柱式防音壁」一般構造図

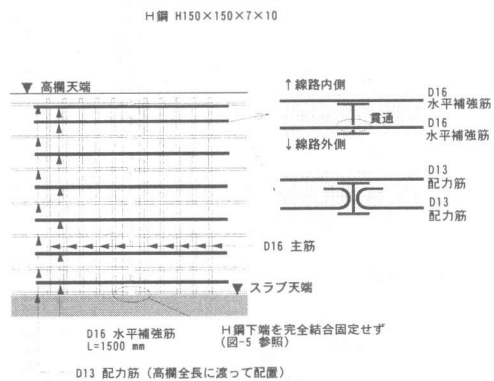


図-2 H鋼とRC高欄との結合方法

*1 日本鉄道建設公団盛岡支社計画部計画課 (正会員)
 *2 日本鉄道建設公団盛岡支社計画部計画課
 *3 飛鳥建設(株) 土木事業本部技術部設計第3課 (正会員)
 *4 飛鳥建設(株) 土木事業本部技術部設計第3課 (正会員)

2. 実験方法

2.1 実験ケース

実験は、高架橋部のH鋼支柱式防音壁構造を対象としたが本構造体の線路外側には風荷重などの荷重（以後「正荷重」と呼ぶ）が、一方、線路内側には飛雪荷重、列車風圧荷重などの荷重（以後「負荷重」と呼ぶ）が作用するため両者の荷重に対する耐力の確認が必要であること、H鋼の水平方向への抜出しが懸念され水平補強筋(D16)数量の大小が構造体の耐力に影響があると考えられたことから、設計計画時に設定した配筋構造（以後「計画構造」と呼ぶ）と水平補強鉄筋量を「計画構造」よりも増やした配筋構造（以後「補強強化構造」と呼ぶ）の2種に対して実験を実施することとし、表-1に示す様な4つの実験ケースを設定した。

表-1 実験ケース一覧表

試験ケース	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
		荷重 H鋼	荷重 H鋼	荷重 H鋼
構造	計画構造	計画構造	補強強化構造	補強強化構造
想定荷重方向	正荷重	負荷重	正荷重	負荷重

2.2 供試体概要

実験においては、プレキャスト版は荷重を受ける部材であるため、防音壁構造の一部を取り出したRC高欄及びH鋼より構成される供試体を使用した。供試体一般図を図-3に示すが、載荷装置の制約より「負荷重」載荷の供試体にお

いてはH鋼配置位置及びRC高欄構造を反転させた構造とした。図-4に供試体の概略配筋を示す。高欄上部においては押し抜きせん断によるH鋼の水平方向抜け出し防止の為に「H鋼抜け出し防止筋」を配置した。（但しH鋼とは結合していない。）またH鋼下端は図-5に示す様にスラブにガイド筋(D16)を設置し、ガイド筋間にH鋼のウェブを差し込む様な構造としたが、H鋼とガイド筋は溶接などによる結合はしておらずH鋼下端は完全固定状態にはなっていない。なお供試体の製作に使用するコンクリートの設計基準強度は24N/mm²、鉄筋種別はSD345、H鋼材質はSS400とした。

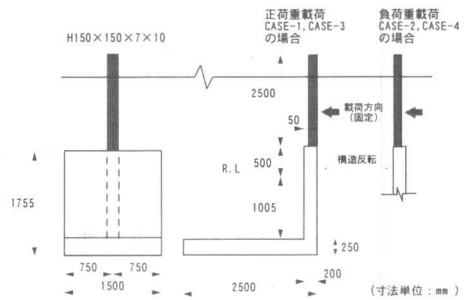


図-3 供試体一般図

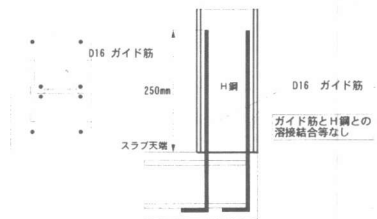


図-5 H鋼下端処理方法

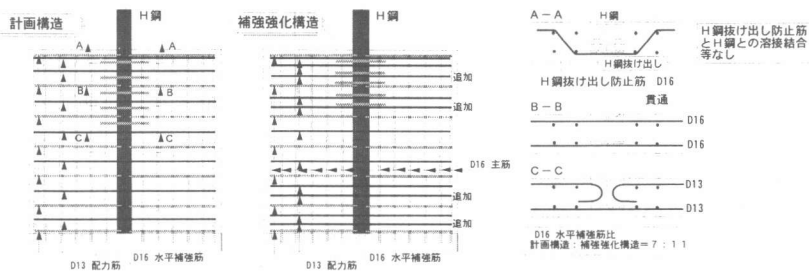


図-4 供試体高欄部配筋図

2. 3 荷重載荷方法

荷重は図-6 に示す様な載荷装置にて静的に載荷するものとした。なお、載荷点高さは実際に防音壁に作用する荷重のほぼ重心高さに一致させた。また図-7 に示す様な載荷パターンにて荷重載荷を実施した。

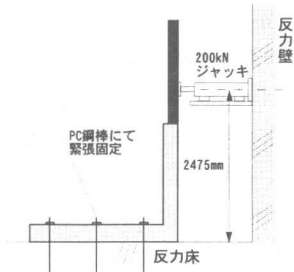


図-6 荷重載荷装置図

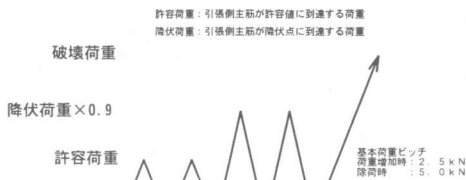


図-7 荷重載荷パターン図

2. 4 計測及び観察項目

実験に際しては、表-2 に示す項目に関して計器計測を行うとともに、ひび割れ発生・進展状況の観察を随時行った。なお載荷実験に付随して、コンクリート強度試験（弾性係数試験含む）、鋼材引張強度試験（D13, D16 及びH鋼 弾性係数試験を含む）を実施し、載荷終了後にはコア抜きによるひび割れ深さ調査を実施した。

表-2 計器計測項目及び点数一覧

計測項目	計測器	計測点数				目的・用途
		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	
1 載荷荷重	ロードセル	1	1	1	1	載荷荷重計測
2 変位	高精度変位計	7	7	7	7	供試体変位計測
3 主筋変	変ゲージ	38	38	38	38	高欄内応力分布把握・検討
4 配力筋(D13)変	変ゲージ	16	16	16	16	高欄内応力分布把握・検討
5 補強筋(D16)変	変ゲージ	24	24	24	24	高欄内応力分布把握・検討
6 H欄抜け出し防止筋(D16)変	変ゲージ	2	2	2	2	高欄内応力分布把握・検討
7 H欄支柱変	変ゲージ	8	8	8	8	H欄支柱応力把握・検討
8 高欄部コンクリート変	変ゲージ	3	3	3	3	高欄表面応力分布把握・検討
合計点数		99	99	99	99	

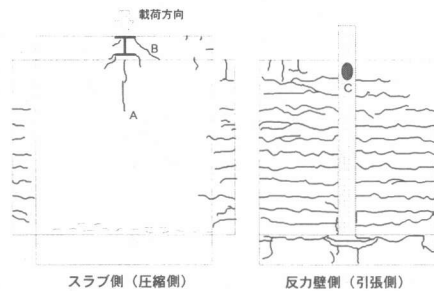
鉄筋変は1計測位置あたり2点計測

3. 実験結果及び考察

3. 1 破壊性状及び曲げ耐力

表-3 には実験全ケースの主な事象と荷重の一覧を、図-8 に「計画構造」におけるひび割れ状況図を示すが、CASE-1~4 のどのケースにおいてもひび割れ発生状況及び破壊への進行状況はほぼ同様であり、載荷初期段階において先ずH鋼支柱前面における「鉛直方向割裂ひび割れ」(CASE-1, 3 図-8 中のA)や高欄上部に「H鋼押し抜きせん断ひび割れ」(図-8 中のB)と言う局部ひび割れが観察されたが、基本的には「高欄基部の曲げひび割れ発生→引張側主鉄筋降伏→高欄基部圧縮コンクリートの圧壊」という「曲げ破壊型」の破壊形態を示し最終的にはH鋼(図-8 中のC部)の降伏を迎え耐荷力を失うという性状を示した。なお、図-9 にCASE-1~4 全ての荷重-載荷点変位曲線を重ねて示すが、いずれのケースも骨格曲線の形状はトリリニア型であり、「曲げ破壊先行型」であることを示している。表-3 と図-9 によると「負荷重載荷」が「正

CASE-1 (正荷重 計画構造)



CASE-2 (負荷重 計画構造)

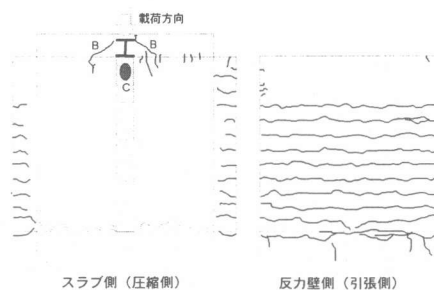


図-8 「計画構造」におけるひび割れ状況

荷重載荷」よりも若干耐力が低い、全ケース間に大きな有意差はなく、それぞれの最終耐力は限界状態設計荷重（負荷重「 $1.0 \times$ 強制振動+ $1.0 \times$ 飛雪荷重」が最大）及び限界状態設計法^{1),2)}に準拠して計算したRC高欄の設計曲げ耐力を上回っており構造体の安全性が確認される。また今回の実験の補強筋量範囲内では、水平補強筋量の大小は耐力に大きな影響を与えないものと考えられる。

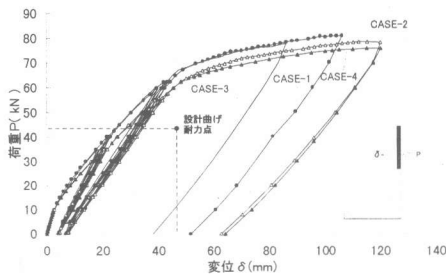


図-9 荷重-載荷点変位図

3. 2 構造部材挙動

破壊性状及び耐力において「計画構造」「補強強化構造」間に大きな有意差がない為、これ以降「計画構造」(CASE-1及びCASE-2)における構造部材挙動に関して示す。(部材挙動の傾向に関しても「計画構造」と「補強強化構造」の間に大きな違いはないことを確認している。)

(1) RC高欄上部の補強筋挙動

図-10にRC高欄上部に配置したH鋼抜け出し防止筋の荷重-歪関係、図-11に水平補強筋(D16)の荷重-歪関係を示す。H鋼抜け出し防止筋はCASE-1においては大きな引張歪を生

じているが、CASE-2においては圧縮側の歪を生じており、H鋼抜け出し防止筋は正荷重に対して有効に作用していると言える。一方、水平補強筋はCASE-2(H鋼を貫通する)においてより大きな引張歪を生じており負荷重によるH鋼の前面への抜け出しに対してより有効に作用していると判断される。

(2) RC高欄基部の補強筋挙動

図-12にRC高欄基部曲げ引張側に配置したCASE-1の水平補強筋(H鋼を貫通する)及びCASE-2の水平補強筋(H鋼を貫通しない)の荷重-歪関係を示す。特にCASE-1において荷重の増加に伴う歪の増加量が大きく、H鋼近傍

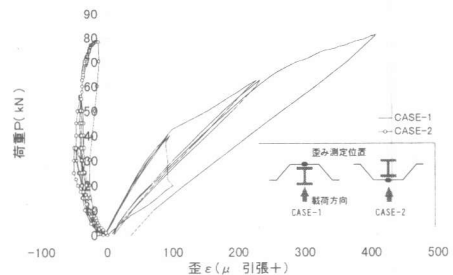


図-10 H鋼抜け出し防止筋荷重-歪図

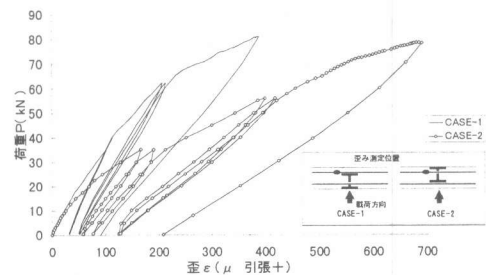


図-11 水平補強筋の荷重-歪図

表-3 主な事象と荷重一覧

	荷重値(kN)					高欄基部でのモーメント(kN-m)					
	CASE-1 計画構造 正荷重	CASE-2 計画構造 負荷重	CASE-3 補強強化 正荷重	CASE-4 補強強化 負荷重	比較値	CASE-1 計画構造 正荷重	CASE-2 計画構造 負荷重	CASE-3 補強強化 正荷重	CASE-4 補強強化 負荷重	比較値	
初期ひび割れ発生	5.0	7.0	7.1	5.0		11.1	15.6	15.8	11.1		
高欄基部に曲げひび割れ	17.5	15.0	17.5	20.0		38.9	33.4	38.9	44.5		
主鉄筋許容引張到達	40.0	35.0	35.0	32.5		89.0	77.9	77.9	72.3		
主鉄筋降伏	67.5	62.6	67.3	62.5		150.2	139.3	149.7	139.1		
高欄基部コンクリート圧壊歪み到達	76.6	72.5	73.3	71.5		170.4	161.3	163.1	159.1		
破壊(H鋼降伏)	81.0	78.5	77.8	75.9		180.2	174.7	173.1	168.9		
設計曲げ耐力						43.1					96.0
最大設計荷重(正荷重 $1.1 \times$ 強制振動+ $1.0 \times$ 風荷重)						33.0					73.5
最大設計荷重(負荷重 $1.0 \times$ 強制振動+ $1.0 \times$ 飛雪荷重)						38.8					86.2

位置の歪レベルが大きい。また鉄筋の上下面での歪挙動を見ると鉄筋は図-13 に示す様な挙動を起こしていると考えられる。CASE-1 では、特に破壊時においてコンクリートとH鋼の付着切れによると考えられるH鋼の浮き上がりが顕著であったが、水平補強筋（H鋼貫通）はこの浮き上がりに抵抗（エネルギー吸収）しながら曲げ抵抗力を発揮しているものと考えられる。

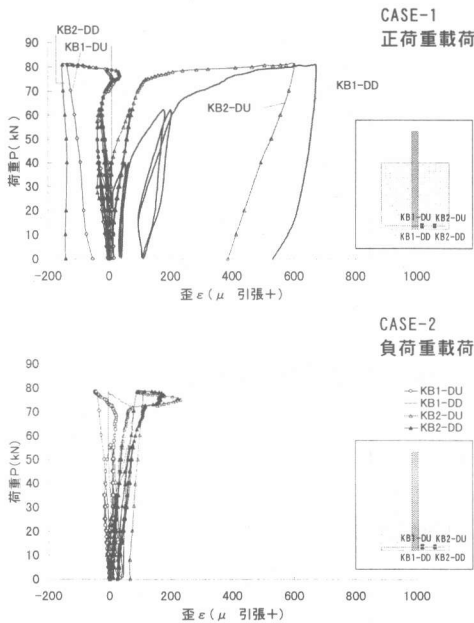


図-12 荷重-水平補強筋歪図

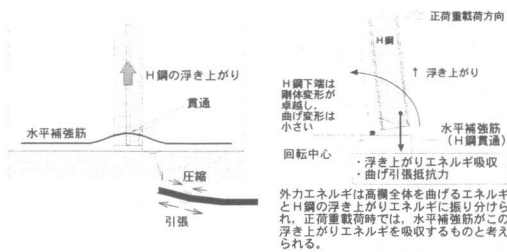


図-13 水平補強筋（H鋼貫通）の挙動モード図

(3) RC高欄とH鋼の曲げ変形挙動

図-14 に圧縮及び引張側主筋歪，H鋼の圧縮及び引張側フランジ歪より算定したRC高欄とH鋼の曲率の高さ方向分布を示す。CASE-1, CASE-2 ともRC高欄とH鋼の曲率は中央高さではほぼ同じであるが分布形は逆傾向にあり各々が別挙動をしている。CASE-1 のH鋼基部の

曲率は荷重が増加しても変化せず0に近い。これはH鋼の浮き上がりにより曲げ変形が小さいためと思われる。一方CASE-2 のH鋼基部の曲率は荷重増加とともに増大し、底面は完全には浮き上がり曲げ抵抗の一部（圧縮フランジ側の曲げ圧縮抵抗が主体）を発揮していると判断される。但し、CASE-2 ではCASE-1 におけるRC高欄基部のH鋼を貫通する水平補強筋の様な曲げ引張抵抗材（エネルギー吸収材）はない。従ってその役割の多くをRC高欄に期待することとなる為、RC高欄の耐荷負担が大きくなりRC高欄基部の曲率は図-14 に示す様にCASE-2 の方がCASE-1 よりも大きくなったと考えられるが、このような耐荷機構の違いが負荷重載荷時の耐力が正荷重載荷時より若干低いという耐力差の原因の一つと判断される。

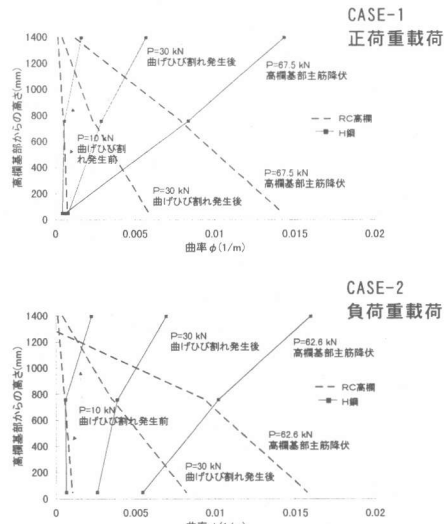


図-14 RC高欄とH鋼の曲率分布図

3. 3 平面非線形骨組解析による検証

実験結果の検証を目的として材料非線形梁を用いた平面骨組解析を実施した。解析においては、RC高欄とH鋼が別挙動を示すことを受けそれぞれを個別の梁要素にてモデル化し、これらを剛ばね要素で結合するモデルを採用したがRC高欄頂部の押し抜きせん断ひび割れ深さ調査より高欄上部15cmの範囲には結合ばねを配置しないものとした。また付着切れ等の理由に

よりH鋼とRC高欄が分離しているとする領域を表す下部結合ばね非配置領域長さ L_d を解析パラメータとした。解析モデルを図-15に示す。なおコンクリート及び鋼材の材料試験結果をもとにRC高欄にはトリリニア型、H鋼にはバイリニア型の曲げ変形 ($M-\phi$) 特性を与えた。図-16に解析と実験の荷重-変位関係の比較を示す。 L_d を考慮した解析値は実験の荷重-変位の初期勾配をうまく表現できるものの降伏点や圧壊点は実際の値よりも低く算定している。これを受けて次にRC高欄の曲げ変形特性のうち M_y 及び M_u を実験値に一致する様に調整し解析を実施した。図-17にはCASE-1の M_y を1.27倍、 M_u を1.32倍に、CASE-2の M_y を1.18倍、 M_u を1.26倍に調整した後の解析結果を示すが解析値は実際の現象をうまく表現していることがわかる。この補正倍率は解析モデルにて考慮

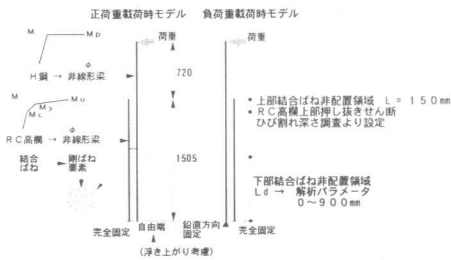


図-15 解析モデル図

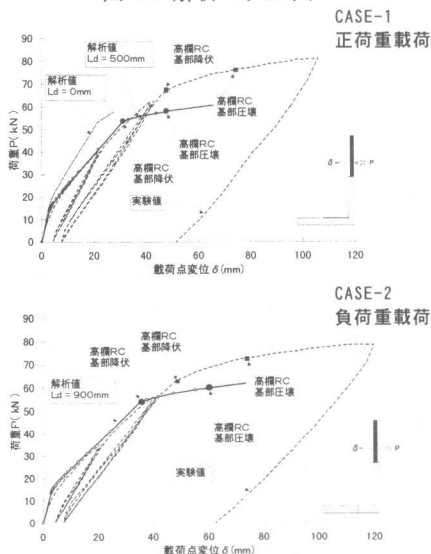


図-16 実験結果と解析結果の比較図

されない正荷重に対する高欄基部の水平補強筋の効果や負荷重に対するH鋼底面曲げ抵抗等に起因するものと考えられる。

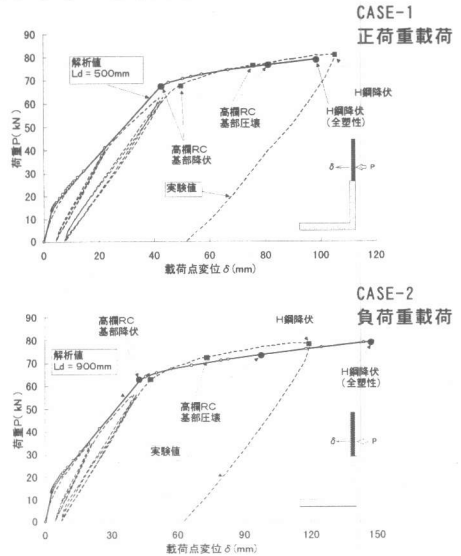


図-17 実験結果と解析結果の比較図

4. まとめ

今回の研究より以下の結論を得た。

- ①「H鋼支柱式防音壁」は外力に対して「曲げ破壊先行型」の破壊形態を示すが、正負両設計荷重に対して十分な曲げ耐力を有している。
- ②RC高欄とH鋼は個別の曲げ変形を起こしながら外力に抵抗し、これに水平補強筋などが正荷重及び負荷重に対して異なる役割を担いながら耐力負担に寄与している。
- ③RC高欄及びH鋼を個別にモデル化し、これを一定の領域で結合したモデルにて非線形骨組解析を行えば実際の挙動を推定可能である。現実に近い耐力などを求めるには水平補強筋などの耐力増進効果を加味してRC高欄の $M-\phi$ 特性を補正する必要があるが、補正をしなくても2~3割程度低い耐力を算定するため、設計上は補正を行わなくても問題はないと考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，1992.10
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編[平成8年制定]，1996.3