

建築結構

鋼筋混凝土結構部份

中南土木建築學院

建築結構教研組

一九五五年十月

前 言

本講義是為高等工業學校的公路與城市道路專業、鐵路建築專業、橋梁與隧道專業的「建築結構」課程中「鋼筋混凝土結構部分」教學需要所編訂的；和成都工學院、同濟大學、唐山鐵道學院有關教研組分工編寫的磚石結構、鋼結構、木結構共同組合為建築結構。

這是遵照統一教學大綱所規定的時數，參考伊維揚斯基和薩赫諾夫斯基著「鋼筋混凝土結構學」及我國有關材料所編訂。

估計以分量和進度言是可以在教學計劃所定的時數中完成講授任務；只以各專業在要求上微有不同，故建議對不同的專業仍由教師作必要的補充。

體會到三年級學生尚未做過生產實習，對於紮鋼筋和彎筋的構造內容皆屬初學，設計與規範較難配合，故列舉的例題較為詳明，希望通過例題可以體現各章節的連繫。

擔任編寫工作的是劉旋天同志，於一九五五年十月完稿。

無論在內容的編排上或刊印上有何不妥或錯誤之處，懇希通知我們以便改進。

中南土木建築學院建築結構教研組

• 一九五五年十月 •

目 錄

第一章 概 說

§ 1.1 鋼筋混凝土的要點.....	1
§ 1.2 鋼筋混凝土結構發展簡史.....	1
§ 1.3 鋼筋混凝土結構物的優缺點.....	2
§ 1.4 混凝土的標號和強度.....	3
§ 1.5 混凝土的各種性能.....	5
§ 1.6 鋼筋在鋼筋混凝土結構中的作用和性能.....	9
§ 1.7 鋼筋的型式和施工時的處理.....	11

第二章 鋼筋混凝土結構計算方法的原則

§ 2.1 應力階段.....	14
§ 2.2 按資用應力（許可應力）計算原理的簡單介紹.....	15
§ 2.3 按破損階段計算的原理.....	17
§ 2.4 強度安全係數.....	18
§ 2.5 按破損階段計算的材料強度和建築物的正常荷載.....	19
§ 2.6 按極限狀態標準計算的簡單介紹（目的和任務）.....	21

第三章 中心受壓及中心受拉構件

中心受壓——有縱向受力鋼筋的柱

§ 3.1 有縱向受力鋼筋及鋼箍柱的構造.....	22
§ 3.2 中心受壓的計算.....	23
§ 3.3 縱向彎曲的考慮.....	25
§ 3.4 有縱向受力鋼筋及鋼箍的普通鋼筋混凝土中心受壓柱的計算例題.....	26

中心受壓——有間接受力鋼筋的柱

§ 3.5 有間接受力鋼筋柱的原理.....	28
§ 3.6 螺旋鋼筋柱的構造.....	29
§ 3.7 有螺旋鋼筋柱按破損階段的基本計算公式及截面選擇.....	29
§ 3.8 有間接受力鋼筋柱的計算例題.....	30

中 心 受 拉 構 件

§ 3.9 容許有裂縫構件的計算.....	31
-----------------------	----

§ 3.10 不容許有裂縫出現構件的計算	33
----------------------	----

第四章 鋼筋混凝土結構構件受彎的計算(按破損階段)

§ 4.1 整體式鋼筋混凝土梁式版的構造	34
§ 4.2 整體式鋼筋混凝土梁的構造	35
§ 4.3 任意對稱斷面受彎構件的強度計算——單筋構件	36
§ 4.4 矩形斷面單筋構件的強度計算(附計算例題)	38
§ 4.5 雙筋受彎構件的原理與強度計算	42
§ 4.6 矩形斷面雙筋構的強度計算(附計算例題)	49
§ 4.7 丁形斷面構件的強度計算	52
§ 4.8 預先估計丁形梁斷面尺寸的方法	56
§ 4.9 丁形梁的計算例題	56

第五章 受彎構件橫向鋼筋的計算(按許可應力計算切力)

§ 5.1 概說	58
§ 5.2 切應力	58
§ 5.3 主應力及主應力圖形	60
§ 5.4 彎起鋼筋的計算	62
§ 5.5 鋼箍的計算	65
§ 5.6 縱筋的計算	65
§ 5.7 例題	67

第六章 連續梁及肋形樓蓋

§ 6.1 連續梁的彎矩及切力	73
§ 6.2 平面樓蓋——梁式版肋形樓蓋的組成	77
§ 6.3 肋形樓蓋的計算	79
§ 6.4 肋形樓蓋連續版的配筋	83
§ 6.5 連續次梁及連續主梁的配筋	85
作業——課程作業例題	88
附錄 I ——當均佈荷載及對稱位置相等的集中荷載時，等跨度連續梁中的跨度 彎矩、支座彎矩及支座截面處切力	98
附錄 II ——均佈荷載時等跨度連續梁的彎矩及切力	106
附錄 III ——集中荷載時等跨度連續梁的彎矩及切力	109

第七章 偏心受壓及偏心受拉構件

§ 7.1 偏心受壓柱的構造	113
§ 7.2 蘇聯對於偏心受壓構件試驗的結果	116

§ 7.3 矩形偏心受壓構件的計算	117
§ 7.4 不對稱鋼筋的斷面選擇（矩形截面的柱）	118
§ 7.5 對稱鋼筋的斷面選擇（矩形截面的柱）	120
§ 7.6 細長偏心受壓構件的壓屈影響（矩形截面的柱）	121
例題——計算例題	122
§ 7.7 偏心受拉構件的計算（矩形截面）	127

第八章 柱下基礎

§ 8.1 柱下個別塊砌基礎的構造和計算	130
§ 8.2 柱下個別鋼筋混凝土基礎的構造	131
§ 8.3 錐形基礎的設計（中心荷載）	133
§ 8.4 階級基礎的設計（中心荷載）	134
§ 8.5 偏心荷載下個別基礎的設計概要	134
例題——中心荷載階級形基礎的設計例題	135

第九章 裝配式鋼筋混凝土結構

§ 9.1 裝配式鋼筋混凝土結構對社會主義工業化的重要性	138
§ 9.2 裝配式鋼筋混凝土結構的要點與型式	139
§ 9.3 裝配式樓版的構造	141
§ 9.4 裝配式梁的構造及接頭	145
§ 9.5 裝配式柱的構造及接頭	146
§ 9.6 裝配式柱的基礎	147

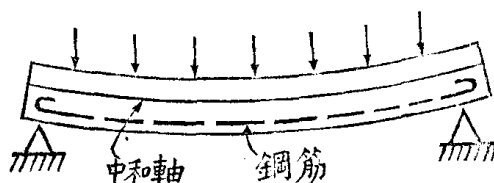
第十章 預應力鋼筋混凝土結構

§ 10.1 概說	149
§ 10.2 預加應力的方法和預應力工作的過程	150
§ 10.3 預應力結構的材料及鋼筋錨住法	152
§ 10.4 用預應力鋼筋混凝土的基本結構物	154

第一章 概說

§ 1.1 鋼筋混凝土的要點

鋼筋混凝土，是鋼筋及混凝土，兩種不同機械性能的材料而共同工作的結合物。只因混凝土的抗拉能力比抗壓能力小得多，故在受彎構件中鋼筋是置於截面的受拉區域，這樣截面上能够產生的抵抗力矩比純混凝土要大得多，形成鋼筋混凝土結構物可以發展的基本條件。



查它們是本質上完全不同的兩種材料，而能如整體一樣的共同工作，是因具有下列三種性能：

(一) 當混凝土結硬時與鋼筋很結實的粘着在一起（粘着力），在受力而工作時，此構件中的鋼筋與混凝土相鄰近的面層，通過粘着力得到相同的變形。

(二) 鋼與混凝土有幾乎相等的溫度膨脹係數：（混凝土為 $0,000,01-0,000,0148$ ，鋼為 $0,000,012$ ）因此當溫度變化時構件中僅有很小的內部應力不致產生有害的變形。同時混凝土為不良導熱體，能使鋼筋不致有溫度的劇變。

(三) 混凝土包住鋼筋後，可很好的防止鋼筋銹蝕。

按照製造方法鋼筋混凝土結構物分為整體式的，即就地建製的；及裝配式的，即在工廠中或在工地上預先製成的單獨構件裝配而成的。

§ 1.2 鋼筋混凝土結構發展簡史：

鋼筋混凝土結構與磚石、木、及鋼等用於建築材料的時間來說，比較是一種新型的結構，在十九世紀的後半葉才開始。查水泥發明於 1824 年以前數年的俄國騎士欽里也夫（並不是已往所公認的英國石匠阿浦斯金發明的）俄國於 1886 年曾最初採用過鋼筋混凝土結構；當時在法國有花匠蒙約獲得製造鋼筋混凝土花盆的專利權。因花盆和管子圓週的鋼筋是中心受拉可以放在厚度的中央，而蒙約將板的鋼筋也放置在板厚的中央，至犯錯誤。各國自後發展用實用應力作為計算鋼筋混凝土結構的唯一方法，曾應用到各種現代化的高層建築物並製就了一系列的計算圖表，使用上皆頗成功只是不曾考慮到混凝土的塑性性能，致浪費了材料。待蘇聯實行第一個五年計劃時，大力研究鋼筋混凝土結構原理；1932 年 А.Ф. 羅列依特教授首先提出根據塑性理論計算的觀念，這是蘇聯創始的一種獨特的鋼筋混凝土學派。其後由 А.А. 葛涅滋捷夫等進行一系列的試驗，於

1938 年經批准後，規定工業與民用建築物必須用新的——按破損階段設計的方法。對於承受較大衝擊力的結構物（橋梁），因破損階段尚在研究中所以現仍用實用應力設計。總之鋼筋混凝土結構現在已應用到高層民用建築（有勁性鋼筋的鋼筋混凝土樓房可達26層），工廠建築，水工結構（包括水力發電），橋梁和高架橋，飛機庫，礦業的井上構架，地下鐵道，和（穹隆，水塔，糧綫，煤倉，烟囱，吊車梁，擋土塔，跳水台等）特種結構——無論在力學上、藝術上、經濟上、國防上皆有它能夠解決問題的特點。

我國在 1876 年曾用直窰製造水泥（即啓新洋灰廠的前身），其後 1907 大冶、1910 廣州、1918 上海、1922 龍潭、1934 大原、1935 棲霞山（江蘇）、1936 重慶、皆曾分別設廠製造水泥了。但在反動統治和日寇軍事進攻下，鋼筋混凝土結構是不易發展的，如以 1946 年統計當時全國最大跨度的鋼筋混凝土橋梁為例，記錄並不高，即：*

（甲）市政橋：——南京挹江門外中山橋，中孔 30.5M，寬 22M，係翅臂懸梁式。

（乙）鐵路橋：⊖拱橋：——粵漢鐵路新岩下橋，孔徑 30M。

⊙T形梁橋：——黔桂鐵路廟頭橋，孔徑 15M。

（丙）公路橋：——川滇西路峨嵋河橋，中間三孔各 22M，兩旁各 16.5M 共長 99M。

在解放後不久就完成當時全國最大孔徑的蘭州雷壇河鋼筋混凝土單孔橋；至於鋼筋混凝土的高層房屋和水工結構的打破紀錄更是日新月異。1954 年全國的水泥產量超過 1949 年的 6.2 倍。1952 年春蘇聯伊維揚斯基著鋼筋混凝土結構學中文譯本出版後，在我國奠定了以破損階段設計的基礎。今後在建築工業中按破損階級計算斷面可以節約大批材料，特別是對偏心受壓構件按新法計算所需的鋼僅為按舊法計算的 30%—50%。自 1955 起我國大力推行裝配式構件，如該年四月開工的北京第三棉紡廠在施工中採用裝配式的鋼筋混凝土預製構件已佔全部鋼筋混凝土工程 70% 以上。

§ 1.3 鋼筋混凝土結構物的優缺點：

鋼筋混凝土作為建築材料，具有許多優點：

1. 就地取材——在鋼筋混凝土體積中佔地位最大的材料是碎石（或卵石）與砂，而它們可以就地取材不必遠運。水泥與鋼筋固需遠運，但它們最多只佔體積中的五分之一而已。

2. 耐久性——查混凝土的強度是與年俱增的，鋼筋既具有混凝土的保護層年久亦不至銹蝕，故鋼筋混凝土的結構物不但耐久而且修理費用亦遠較鋼木結構為小。

3. 耐火性——已知混凝土是不良導熱體。當具有保護層厚度 2.5 公分時，外部處在 1100° 高溫達一小時鋼筋僅被熱到 550°；如保護層為 5 公分則須經過二小時。故它可以抵抗普通火災。

4. 整體性——由於本身的整體性，鋼筋混凝土能很好抵抗震動力量。對於遭受地震，暴風浪的作用，車輛的衝擊力，和快速機器所生的擺動等，鋼筋混凝土是可靠的結

*根據 1946 年八月出版的「三十年來之中國工程」統計數字。

構物。

5. 剛性——鋼筋混凝土結構有高度的剛性，變形極微。在按照規範所設計的受彎構件中，甚至可以不必復核撓度。

6. 適應性——鋼筋混凝土可澆成任何形狀的結構物，對於構造，生產，和建築的各樣要求皆有廣泛的適應性。這對於修復已損傷或破壞的結構特別有價值。

鋼筋混凝土的缺點則有：

1. 本身重量大——鋼筋混凝土的本身重量很大，所以應用在大跨度的結構物上則有一定的限制。但在形式上利用拱形或有托承的梁，在製造上利用預應力構件，在材料上利用輕質粒料和提高鋼筋與混凝土的標號等辦法，可大為克服此缺點所造成的限制。

2. 費木料多——鋼筋混凝土結構在模板和支承架上是很費木料的。若能廣泛採用裝配式構件可以大部分的避免此項缺點。

3. 費工費時——在建立支承架，裝木模，扎鋼筋，及維持結構物在模內有一定的時期等，皆是費工費時的。此缺點亦可用推廣裝配式構件的辦法，予以克服。

4. 雨季及冬季施工困難——避免此缺點的基本辦法亦是要推廣裝配式構件的運用。

5. 在澆灌後檢查鋼筋有困難——在蘇聯原是用X光透視及檢波指示器查驗的，最近利用放射性鈾的射線，可以透視出三百公厘厚鋼材內的缺陷。建築工業已相當普遍的利用放射性鈾進行檢查工作，既輕便又價廉。

6. 傳熱及傳聲性——若採用絕緣材料和泡沫混凝土則該項缺點可以改善。

總之鋼筋混凝土是一門尚在發展中的科學，隨着技術的加速前進和建築業的廠製標準化，幾乎使以前認為不可避免的缺點，亦可消除。

§ 1.4 混凝土的標號和強度：

對混凝土作基本機械鑑定，是採用立方體的受壓強度 (Kg/cm^2) 作為其標號 (R)。規定一個 $20 \times 20 \times 20$ 公分立方體，年齡為28日，表面無油脂時的極限受壓強度即為該混凝土的標號。只因所用水泥質量，填充料性質，混凝土的組成，水灰比，混凝土的備製，澆灌與加工方法等的不同，所得之標號 (R) 亦異。一般用 $R=50, 70, 90, 110, 140, 170, 200, 250, 300, 400, 500, 600$ 等十二種。其用途如下：

$R=50, 70$ ：僅容許不受潮濕及冰凍作用的情況下，在結構物中作輕質填充物。

$R=90$ ：在應力很小的大型建築物中（如堤壩）可以用為柔性鋼筋的鋼筋混凝土結構。

$R=110, 140$ ：工業與民用建築物經常採用此二種標號。至於大跨度結構（如橋梁），及受返復動力荷載的結構物（如煤倉，穀倉，吊車梁，裝配式構件等）與採用勁性鋼筋的構件，皆不得低於140號混凝土。當必須減低結構物的自重時，可以採用更高級標號的混凝土。

$R=250-600$ ：高號碼的混凝土主要用於預應力結構中，而 500 至 600 號的混凝土頗不易做。

中華人民共和國公路工程準則草案，規定鋼筋混凝土橋涵建築所用的混凝土分為 200，170，140，110 四號。當採用 200 及 170 號時，須用混凝土拌和機和震動器。表 1·1 為參考資料。

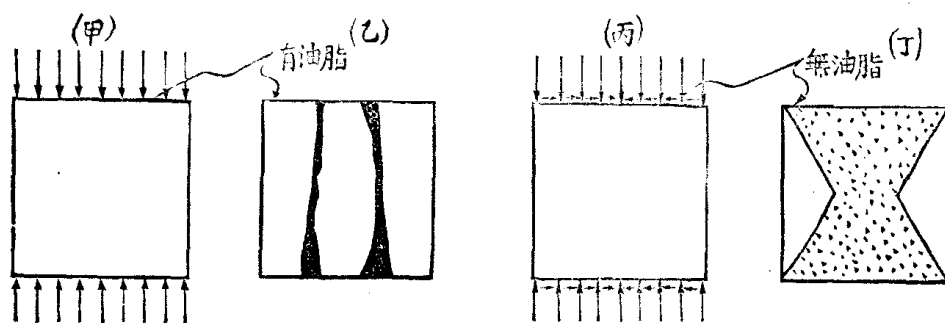
表 1·1：公路一般設計所用混凝土標號

橋涵種類及部分	單一跨徑長度(公尺)	採用混凝土標號		
梁，拱	≥ 20	140	170	
剛構	≥ 10	140	170	
涵洞，墩台		110	140	170
橋		140	170	200
以上各種橋涵及部材	大於各項上列數值	170	200	

茲將混凝土的受力強度簡述於下：

(一) 立方體的受壓強度 R

在壓力作用下，混凝土立方體將發生垂直的縮短和橫向的擴張現象。這時若將上下



圖(1·2)混凝土立方體受壓與破壞情況

兩面塗上油脂使橫向擴張時無摩擦阻力，則將得沿作用力方向的裂縫分裂，圖1·2(甲)，(乙)所示。混凝土標號是規定用上下表面無油脂時 $20 \times 20 \times 20$ 公分立方體的受壓強度，它因有摩擦阻力（等於上下各有一道箍）故破壞自中央部分開始，最後形成兩個相聯的錐體形，圖1·2(丙，丁)。受壓強度 $R = \frac{N_p}{F}$ （單位為 $\frac{Kg}{cm^2}$ ），這個強度便是該

混凝土的標號，但當試件並非標準的 20 公分立方體試件時，它的強度必須乘以校正係數 β 後才能折合成為 20 公分立方體的標準強度；即當試件為 $15 \times 15 \times 15$ 公分時 $\beta = 0.9$ ，為 $30 \times 20 \times 30$ 公分時 $\beta = 1.1$ 。

(二) 長直體的中心受壓強度 R_{cp}

規定長直體的中心受壓強度是用一稜柱體，其高度至少等於三倍方形邊寬，它在破壞時的極限受壓強度， $R_{cp} = \frac{N_p}{F}$ ；只因試件長度增加則摩擦阻力影響較小，故 R_{cp} 是小於立方體強度 R 的。它們的關係如公式(1·1)：

$$R_{np} = \frac{1,300 + R}{1,450 + 3R} \quad \text{公式 (1.1)}$$

(三) 彎曲時的受壓強度 R_n

鋼筋混凝土梁當受彎曲時，其受壓區域在破損時所產生的開裂線，是大致與梁邊平行的。對於較低標號的混凝土而言， R_n 等於 R ；較高標號則 R_n 小於 R ；但永遠大於 R_{np} 。經驗公式 (1.2) 表示它們的關係：

$$R_n = 1.25 R_{np} \quad \text{公式 (1.2)}$$

(四) 中心受拉強度 R_p

混凝土的中心受拉強度 R_p 小於 R 甚多。建立受拉強度的真實限值極為複雜，因關係的因素很多，公式 (1.3) 所算得的數值很能與試驗結果相符合：

$$R_p = \frac{1}{2} \sqrt[3]{R^2} \quad \text{公式 (1.3)}$$

混凝土受彎曲時的受拉強度限值 R_{pu} 是一個非常有條件性的強度。只因混凝土有塑性特質，故試驗結果 $R_{pu} = 1.7 R_p$ 。

(五) 混凝土的受切強度 R_{cp}

進行混凝土的受切強度實驗是很困難的，故 R_{cp} 之值尚沒有完全得到闡明，但已確定：受切強度可以用受拉強度 (R_p) 之兩倍計算，作為設計的指標數字。

只因混凝土標號 (R) 的不同，所以各種計算強度限值亦異，其值見下表：

表(1.2)混凝土的計算強度極限值(公斤/(公分)²)

作用力的種類	混 凝 土 標 號 : R												
	R	50	70	90	110	140	170	200	250	300	400	500	600
中心受壓(長直強度)	R_{np}	40	56	72	88	108	125	145	175	200	260	310	350
中心受拉及計算受拉主應力時	R_p	6.5	8.5	10	11	13	15	17	20	23	27	31	35
彎曲時受壓	R_n	50	70	90	110	135	155	180	220	250	325	390	440
直接受切	R_{cp}	11	15	19	22	27	31	35	41	47	58	68	77

試驗證明，混凝土的強度在良好的濕度環境下，是與年俱增的。雖愈久則增加愈慢，但在 20 年中可能增到 28 日強度的 2.5—3 倍。工程師是以混凝土 28 日的強度 (R) 為計算的標準。

§ 1.5 混凝土的各種性能

(一) 在荷載作用下混凝土的變形和極限變形

在荷載作用下混凝土發生彈性變形和塑性變形，前者只與荷載的大小有關，後者與

荷載的大小和時間的長短有關。在反復荷載的作用下，混凝土將開始疲勞，超過「疲勞極限」後的多次反復循環荷載，將迅速使混凝土破壞。混凝土的「疲勞極限」一般採用 $0.5R_{ap}$ 或 $0.4R$ ，所以反復荷載的應力限值比其強度 R 小得多；這是在今後當作構件的強度核算時要採取一個安全係數的內在原因。

混凝土的極限變形值 (ϵ) 是一個變數，它與強度 R 有關。下列三項為其變化範圍，但一般是採取其最小值計算的：

(甲) 混凝土在中心受壓時的極限可壓性 $\epsilon_R = 0.0015 \rightarrow 0.002$ (偶或到 0.003)

(乙) 混凝土在彎曲受壓時的極限可壓性 $\epsilon_R = 0.003 \rightarrow 0.007$ (偶或到 0.01)

(丙) 混凝土在中心受拉時的極限可拉性 $\epsilon_p = 0.0001 \rightarrow 0.00015$ (ϵ_p 比 ϵ_R 要小 15~20 倍)。

(二) 混凝土的彈性模數 E_c ：

混凝土的應力與應變之比並不是一根直線，所以它不是完全遵照虎克定律，而是 $E_c = \frac{\sigma_r}{\epsilon_c}$ 在受壓情形時當混凝土 $T =$

1.1，貧混凝土 $T = 1.2$ 。在實驗的基礎上採用受壓構件的平均彈性模數（當應力為 $0.4R_{ap} \sim 0.6R_{ap}$ 時）， E_c 用公式 (1.4) 決定之：

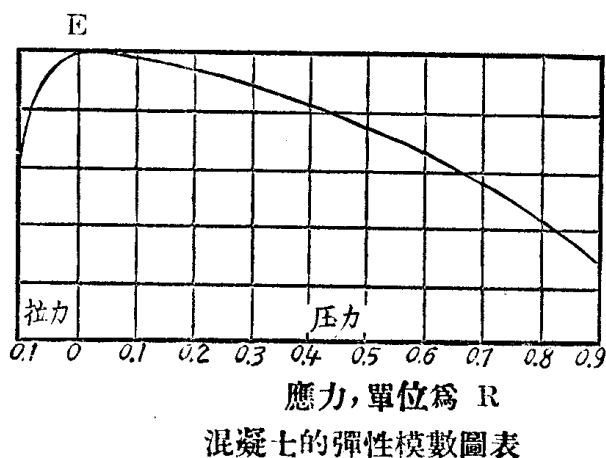
$$E_c = \frac{1,000,000}{1.7 + \frac{360}{R}} \text{ 公斤/(公分)}^2 \quad \text{公式 (1.4)}$$

受彎構件的彈性模數用 $0.625E_c$ 的數值，兩者皆隨混凝土的強度及單位體積重量而異，見表 (1.3)。

(三) 混凝土及鋼筋混凝土的收縮

混凝土在水中結硬時體積膨脹，在空氣中結硬時體積收縮，而收縮值比膨脹值大很多。收縮是水泥漿在其硬化的化學過程和物理過程共同影響下所發生的全部變形。收縮值與時間的對數成正比例，第一年的收縮可達每公尺 $0.2 \sim 0.4$ MM。(圖 1.3)。當施工時加高水泥號碼，用水硬性加料，加氯化鈣，用多孔性碎石，或用彈性模數較小的填充料等皆將增加收縮值。收縮值造成鋼筋混凝土結構的複雜性。

圖 1.3 表示在鋼筋混凝土構件中，因為有鋼筋的存在，



混凝土的彈性模數圖表

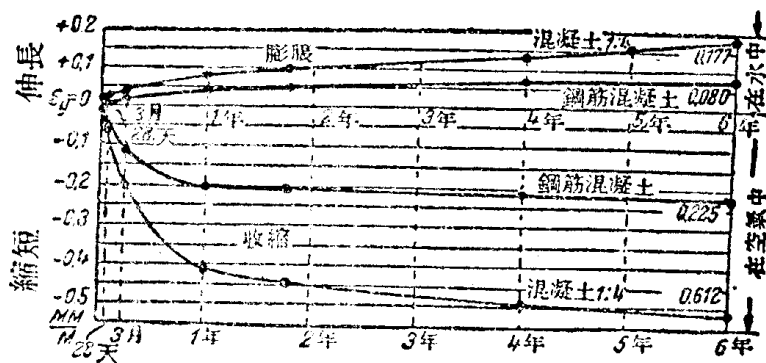


圖 1.3 混凝土及鋼筋混凝土的收縮及膨脹曲線

將使混凝土的收縮值(及在水中結硬時的膨脹值)減少一半以上。這樣則鋼筋和混凝土二者便因通過粘着力相互間發生了初應力；對收縮言：鋼筋發生初壓應力，混凝土初拉應力；對膨脹則相反。已經查明收縮應力並非沿鋼筋長度均勻分布，而是自支座向梁的中部按平坦曲線增大。在受彎構件中當受拉區域內含鋼筋愈多則初應力愈大，這裏的混凝土將因初拉應力而出現裂縫。計算鋼筋混凝土拱和框架等大跨度靜不定結構的收縮變形時可用公式(1.5)：

$$\epsilon_y = \frac{6}{t^{-1} + 4} \times 10^{-4} \quad \text{公式 (1.5)}$$

其中 ϵ_y = 到某一年度的全部單位收縮 (m/m)； t = (以年計)

若令 $t = \infty$ 時，則經過若干年後收縮的極限值： $\epsilon_y = \frac{6}{\frac{1}{\infty} + 4} \times 10^{-4} = 0.00015$

(m/m) = $0.15 (mm/m)$ 此值亦即等於降低溫度 15°C 時 ($0.00001 \times 15^\circ = 0.00015$) 的變形值；輕質鋼筋混凝土相當於 20°C 用 $\epsilon_y = 0.00020$ 。普通工業與民用建築物，一般不計算收縮影響，僅規定在一定長度後，安置變形「溫度—收縮」縫。

膨脹的影響較收縮小很多，混凝土是得到初壓應力乃是在有利方面，普通不予考慮。

(四) 混凝土及鋼筋混凝土的徐變

混凝土內水泥膠塊有塑性性能，在長時間的靜荷載作用下，使混凝土將沿應力方向不斷的流動，乃形成混凝土的徐變。試驗證明：當荷載時間延長，應力值加大，粒料的彈性模數選低，孔隙體積增加，水灰比加大，水泥含量增加，環境濕度乾燥，構件斷面尺寸改小等，皆將增加徐變值。當混凝土在年輕時徐變值增加很快，久之則慢但仍不斷增加它，與時間的對數成正比例，圖 1.4。

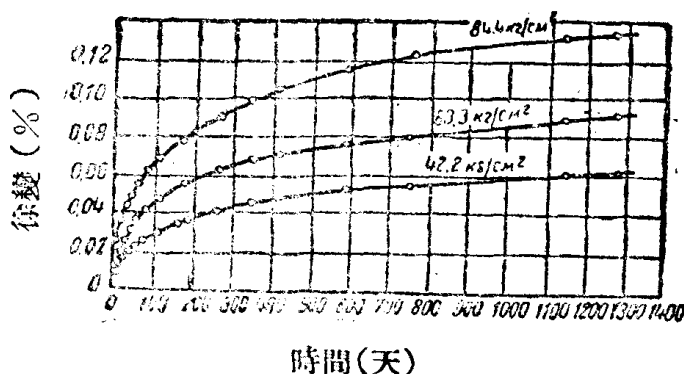


圖 1.4 各種荷重下在各時期混凝土變形(徐變)的增長

混凝土徐變變形 ϵ_a 既與應力 σ_0 成正比，則單位應力下的徐變量可以寫成爲 $C = \frac{\epsilon_a}{\sigma_0} \left[\frac{1}{\left(\frac{K_g}{(\text{cm})^2} \right)} \right]$ 。雅可布遜建議當混凝土在准許應力範圍內在各該年後的徐變量，可用下列公式計算：

$$C_t = \frac{a}{t^{-1} + b} \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\left(\frac{K_g}{\text{cm}^2} \right)} \right) \quad \text{其中 } t = (\text{以年計})$$

式中： $a = 60$ $b = 4$ ——在一個月的長成期後加荷載於混凝土上，



$a=25$ $b=2.5$ ——在三個月的長成期後加荷載於混凝土上,

$a=5$ $b=1$ ——在一年的長成期後加荷載於混凝土上。

當混凝土於 28 日後加荷載, 則它的極限徐變量 ($t=\infty$) 為:

$$C_t = \frac{60}{\frac{1}{\infty} + 4} \times 10^{-6} = 15 \times 10^{-6} = 0.000015 \left(\frac{1}{\left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} \right) \text{ 即每平方公分担負一公斤的}$$

荷載時, 其極限徐變量為每公尺計 0.000015 (公尺)。

查鋼筋並沒有徐變, 在鋼筋混凝土柱中兩者結合後, 它們的變形應相等, 故混凝土的徐變將促使混凝土的應力日漸減低, 鋼筋應力日漸增加——應力重分佈現象, 尤其是當結構物在荷載作用下的最初 200 天內, 見圖 (1.5)。只因內力重分的結果, 在長時期的荷載下, 徐變所生的變形被鋼筋所延遲。此後當鋼筋應力達到將近 σ_r 時, 其變形亦將被混凝土的較小變形所延遲。這時混凝土將被迫支持柱內較多的荷載 (荷載續增) 而鋼筋應力仍保留為 σ_r 。這樣在鋼筋應力保持在 σ_r 的情況下, 柱的強度等於混凝土強度 (R_{np}) 及鋼筋強度之和。自後中心受壓鋼筋混凝土柱的計算公式, 乃是基於這個理由成立的。由於徐變使在受彎構件 (梁) 受壓區的混凝土和受壓鋼筋的應力變化是: 起初鋼筋應力升得慢而混凝土應力降得快, 自後則相反, 鋼筋很快的上升接近 σ_r , 如圖 (1.6) 所示。顯然當梁的荷載續有增加, 受壓區使鋼筋的壓應力達到 σ_r , 最後迫使混凝土應力上升達到彎曲受壓強度 (R_n) 因而破損, 這是今後成立雙筋構件計算公式的基礎。

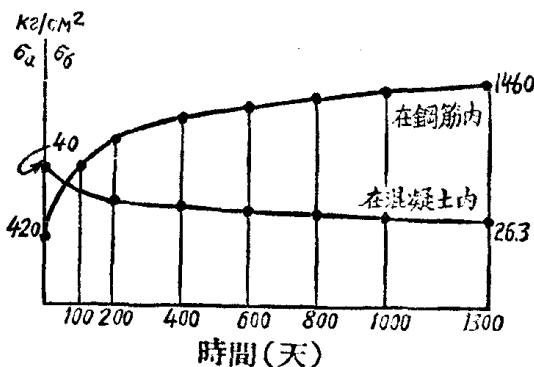


圖1.5 由於徐變在柱的混凝土及鋼筋內的應力變化圖形

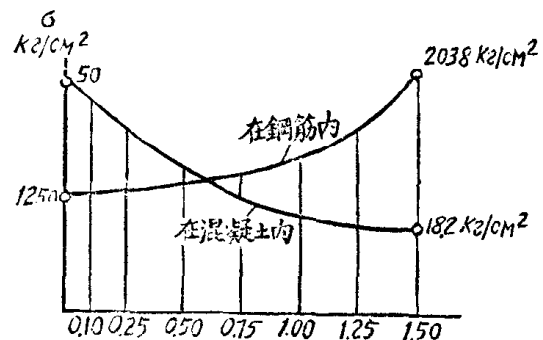


圖1.6 由於徐變在梁的混凝土及受壓鋼筋內的應力變化圖形

(五) 混凝土與鋼筋的粘着力 (拉動抵抗)

鋼筋和混凝土的所以能够聯合工作 (包括相互間的應力重分佈) 完全是因二者的接觸面有粘着應力 (τ_{cu})，使鋼筋自混凝土中被拔出或推出時，發生很大的拉動抵抗。當拉動時鋼筋外表面的每一平方公分與混凝土發生摩擦力及膠着力，它們的聯合作用產生粘着應力 ($\tau_{cu} = \frac{K_g}{cm^2}$)。它的性質是：當水泥含量增加，混凝土標號提高，含水量減低，濕潤養護情況好，混凝土年齡增加，澆灌時用震動器，不令過早結凍，使鋼筋表面粗糙等因素，皆將增加粘着力。竹節鋼筋的拉動抵抗比之圓鋼筋超過 1.5 倍。

直接受拉時粘着應力沿鋼筋的嵌入長度，並非均勻分佈(圖 1.7)，當嵌入長度(L)變動時，最大粘着應力(max. τ_{cu})不變。計算用的 τ_{cu} 是按曲線應力圖形面積的平均值而得的，所以 $\tau_{cu} = \frac{Z}{\mu L}$ 其中

$\mu =$ 鋼筋的週邊(圓筋 $\mu = \pi\phi$ ，方筋 $\mu = 4a$)。試驗證明 τ_{cu} 約等於 0.19R 與混凝土的受切強度極限 R_{cu} 相接近，實用 $\tau_{cu} = 25 \sim 35 \text{ Kg/cm}^2$ 。當

鋼筋被拉到 $\sigma_s = 2500 \text{ Kg/cm}^2$ ，則求最小的嵌入長度L時(用 $\tau_{cu} = 25 \text{ Kg/cm}^2$)：

$$Z = \tau_{cu} \cdot \mu \cdot L \quad \therefore \frac{\pi\phi^2}{4} (2500) = (25)(\pi\phi)L$$

$$L = \frac{2500\pi\phi^2}{25 \times 4\pi\phi} = 25\phi$$

注意到當鋼筋總面積不變，若增加週邊 μ (將原有根數的大鋼筋改為根數較多的小鋼筋，將圓筋改為方筋)，可增加拉動抵抗。

受壓鋼筋因有橫向伸張，增加了拉動抵抗，故其嵌入長度可以小於 25 ϕ 。

受彎曲時梁內鋼筋的粘着應力曲線自梁中心向支座逐漸增加，很符合直接受拉的曲線，可仍照直接受拉的 τ_{cu} 計算。梁內放置鋼筋後，能使縱向鋼筋的拉動抵抗增加 25%。梁內受拉鋼筋當兩端做有彎鉤時，則拉動抵抗大為增加，計：半圓彎鉤增加 98%，斜角彎鉤 80%，直角彎鉤 68%。

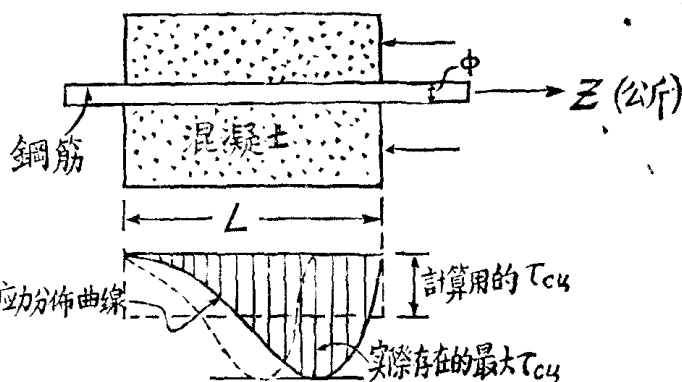


圖 1.7 實際存在及計算用的粘着應力圖

§ 1.6 鋼筋在鋼筋混凝土結構中的作用和性能

鋼筋在鋼筋混凝土構件中所擔負的任務是各色各樣的，如：

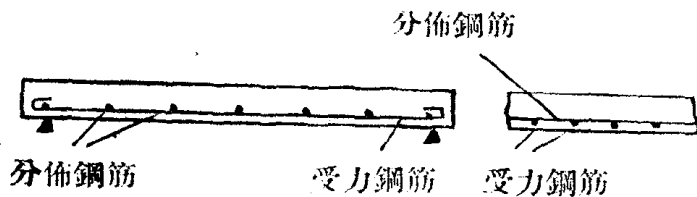


表 1.8 版的配筋

(甲) 在版內有擔負彎曲時拉應力的受力鋼筋；另有以分佈集中荷載並作縱橫連系和保證溫度收縮一致等任務的分佈鋼筋，圖(1.8)。

(乙) 在梁內有擔負跨度彎矩和支座彎矩的受力(拉應力)鋼筋；擔負受拉主應力的斜鋼筋；保證受力鋼筋的地位不變並部分擔負受拉主應力的鋼筋；甚至在受壓域有受壓鋼

筋(雙筋構件);此外還有架立鋼筋等,圖(1.9)。

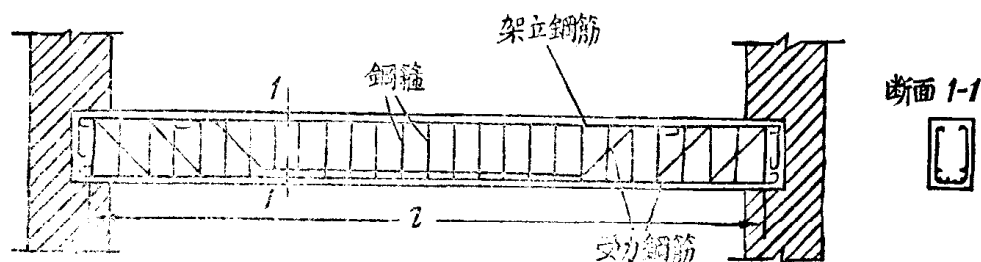


圖 1.9 梁的配筋

(丙)在柱內有縱向筋主要是承受壓應力的受力鋼筋。在偏心柱中也有承擔彎矩的受力鋼筋。鋼箍是必不可少的,圖(1.10)。

在中心受拉構件中,鋼筋要與混凝土同時受拉,並要考慮混凝土不致因受拉而開裂的情況。

各種鋼筋的斷面是根據作用力由計算決定,一般以受力鋼筋的總面積(F_a)與混凝土斷面有效面積(bh_0)之比決定含鋼係數 μ ,故 $\mu = \frac{F_a}{bh_0}$;為方便計用含鋼百分率(p)表示之,

$p = 100\mu$ 。一般用 $p = 0.5\% \sim 2.0\%$

普通鋼筋混凝土的鋼筋是採用軟鋼, $C_r.3$, $C_r.O$ 。它們的含碳量低,強度極限(σ_{ny})不太高,但有很大的塑性。圖(1.11)為軟鋼受拉的應力應變圖: (oa) = (彈性比例區), (ab) = (塑性區), (bc) = (流限區), (cd) = (硬化階段), (de) = (局部流限及頸縮)然後斷裂。在 b 點得到流限應力 σ_r , 鋼 $C_r.O$: $\sigma_r = 2500 \text{ Kg/cm}^2$; 鋼 $C_r.3$: $\sigma_r = 2500$ (或 2850)。

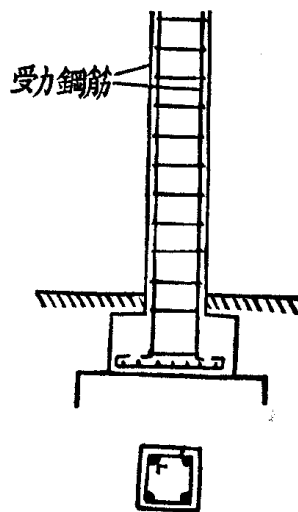


圖 1.10 柱的配筋

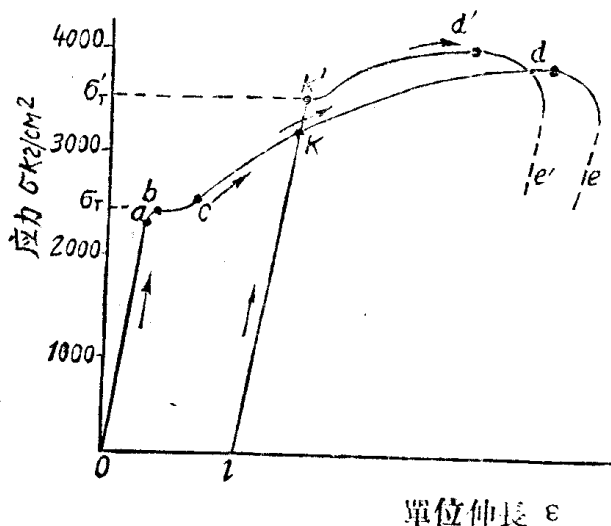


圖 1.11 軟鋼受拉圖形

對於用高級標號的混凝土因粘着力大故可以用較高流限應力的鋼筋。那是將軟鋼筋經過冷加工(普通用「強力拉測」法)提高其 σ_r 。預先在廠中將軟鋼條冷拉至 K 點的應力,圖(1.11),然後卸除荷載,則該鋼條得到永久變形 (OI), 它的流限強度自 b 點應力增加到 K' 的應力,其彈性比例區增到 IK' 的一段。 $C_r.O$ 的鋼筋可自 2500 增到 3500 (Kg/cm^2) 等於增加 40% 這種使鋼在引起塑性變形的力的加工作用下提高流限的現象名「變形硬化」(冷硬)。

但提高了的流限強度只用於結構物的受拉鋼筋，至於受壓鋼筋不論是否經過了「強力拉測」仍用 $\sigma_r(\text{壓}) = 2500 (\text{Kg/cm}^2)$ 。

各種標號的鋼筋其彈性模數一致， $E_s = 2,100,000 (\text{Kg/cm}^2)$ 。當鋼材被熱到 300°C 。以上時，則計算流限值應減低為 $\sigma_s' = \left(\frac{700-t}{400} \right) \sigma_r$ 式中 $t = (\text{溫度的攝氏度數})$ 。

為防備結構物的超荷載和達到彎筋彎鉤的要求起見，鋼筋應具有足夠的塑性性能。它是用冷彎試驗予以檢驗的，圖 (1.12)，規定冷彎彎曲處的内徑為鋼筋直徑的兩倍，在受拉區域 (A) 不得顯露任何裂縫撕裂或鱗落。

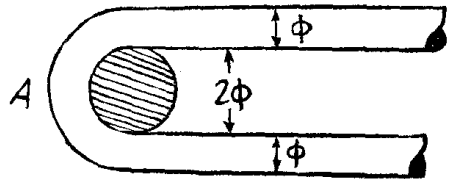


圖 1.12 受彎試驗

§ 1.7 鋼筋的型式和施工時的處理

鋼筋經過冷加工或熱處理後，既已增加 σ_r 則須設法保證能增加拉動抵抗，因此應考慮鋼筋型式和粘着應力的關係。

(甲) 圓筋：雖已知方形鋼筋可增加接觸面積，但它的尖銳稜角促成裂縫，故強力

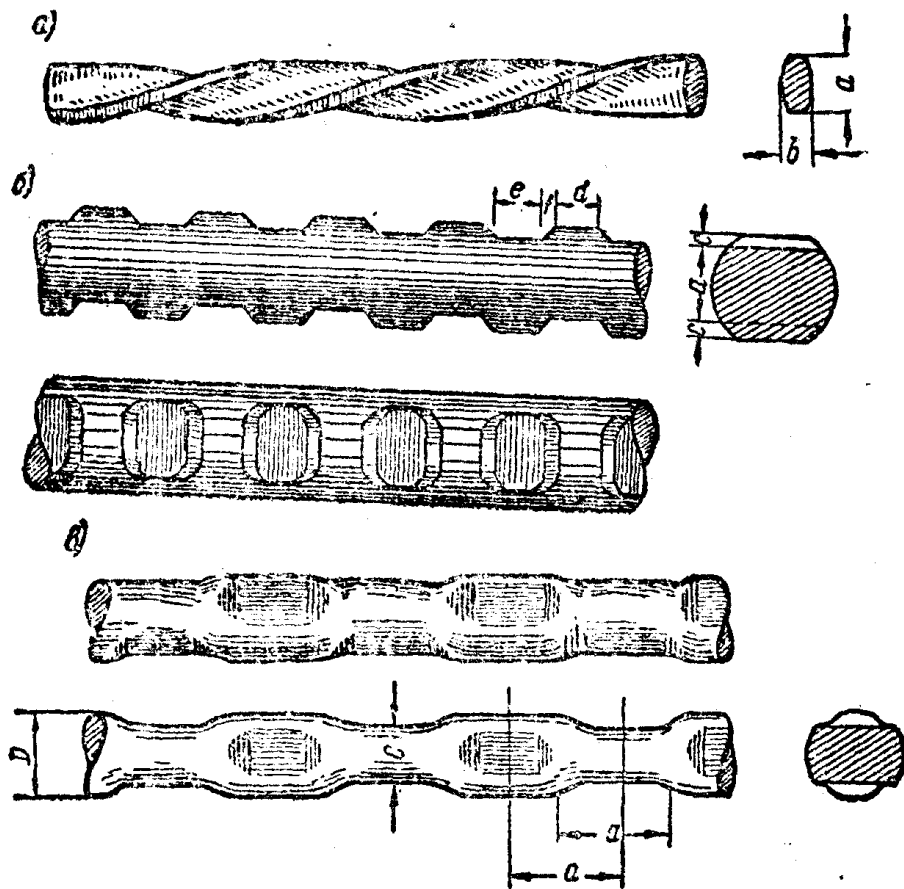


圖 1.13 冷加工鋼筋的型式

拉測時一般習用圓鋼筋而其彎鉤。

（乙）扭轉鋼筋：將正方形、橢圓、及矩形鋼筋於冷的狀態下予以扭轉，增加 σ_r 同時也增加拉動抵抗，型式見圖 1.13(a)

（丙）壓扁竹節鋼筋：在冷的狀態下強制壓伸而成的廠製竹節鋼筋，有的成凸凹表面圖 1.13(b) 有的成凸出齒印圖 1.13(c)。它們皆同時增加 σ_r 和拉動抵抗。

以上三種冷加工的鋼筋只用於受拉時增加 σ_r 至於受壓時不得增加。

（丁）熱軋竹節鋼筋：廠製熱軋竹節鋼筋具有密列的凸出螺紋，無論受拉或受壓皆可用 $\sigma_r = 3500$ ($\frac{Kg}{cm^2}$) 圖 1.14。試驗證明，它不但可大大的增加拉動抵抗並且使裂縫出現較遲和擴展較慢。

（戊）鐸網：對於鋼筋混凝土版中配筋勢將發展用鐸網的型式。它是冷拉網絲製成的，強度達 $3500 \sim 4500 (Kg/cm^2)$ 。捲式鐸接

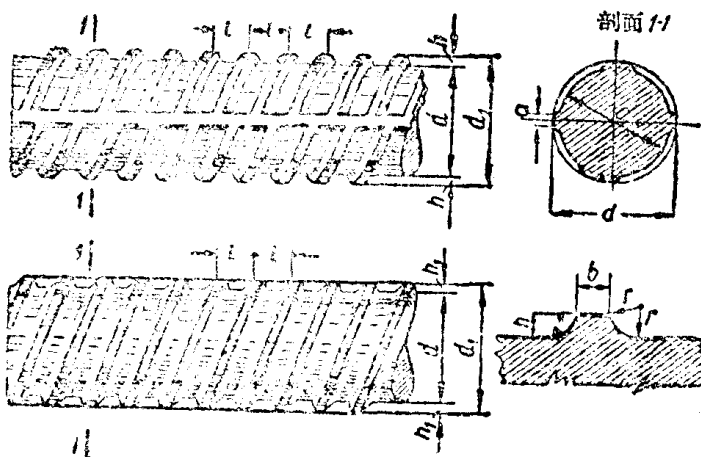


圖 1.14 熱軋竹節鋼筋

網寬約 2 公尺每捲重 150 Kg，據蘇聯經驗採用捲式鐸網，圖 (1.15)，可節省金屬達 40—50% 節省勞動力達 60—80%。

鋼筋在現場上須作彎鉤、彎轉、及接頭等處理

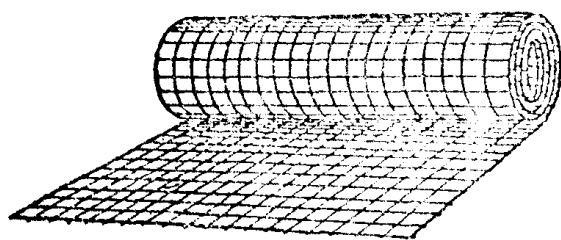


圖 1.15 捲式鐸接網

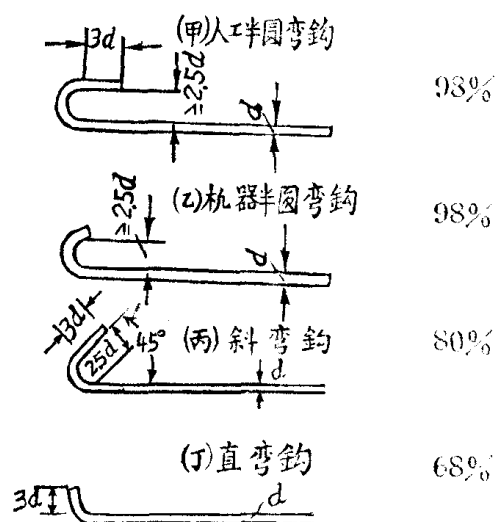


圖 1.16 光面鋼筋的彎鉤

（甲）彎鉤：——彎鉤主要是對光面鋼筋於受拉時為防止滑動和增加拉動抵抗而設，彎在端點。彎鉤內徑為 $2.5\phi \sim 4\phi$ 圖 (1.16) 其用人工彎鉤的端點宜有 3ϕ 的直段。彎鉤部分不計入規定受拉時應予嵌入混凝土的長度內；受壓鋼筋不需彎鉤。扭轉鋼筋和竹節鋼筋的端點皆不需要彎鉤。

（乙）彎轉：——在梁的計算中，鋼筋的彎轉是假定在彎轉點作稜角轉彎的，但在施工時規定彎轉半徑不得小於 $15d$ ，圖 (1.17) 這是考慮了在彎轉點的混凝土在鋼筋壓力

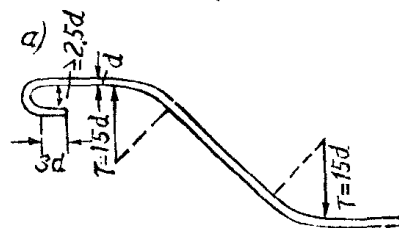


圖 1.17 鋼筋中的彎轉