

館內閱讀



25608

計算鋼筋混凝土受彎構件最適宜方法的選擇

姆·雅·什塔也爾曼 著



57
0851

建築工程出版社

557

5/0851

567

0888

計算鋼筋混凝土受彎構件 最適宜方法的選擇

許乃武 譯

建築工程出版社出版

• 一九五五 •

內容提要 本書介紹鋼筋混凝土受彎構件各種計算方法分析的評論及資料。根據計算結果詳細地研討受拉區域混凝土作用的問題。

本書供工程設計人員、科學工作者及研究生之用。

原本說明

書 名: Выбор оптимального способа расчета изгибаемых железобетонных элементов

作 者: М. Я. Штаерман

出版者: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре

出版地點: Москва—1953
及 日 期

書號 101 57 千字 850×1143 $\frac{1}{32}$ 印張 $3\frac{3}{8}$ 插頁

譯 者	許 乃 武
出版者	建 築 工 程 出 版 社 (北京市東單區大方家胡同 32 號) 北京市書刊出版業營業許可證第 052 號
發行者	新 華 書 店
印刷者	北 京 市 印 刷 一 廠 (北京市西便門內南大道乙一號)

印數 0001—5,000 冊 一九五五年四月第 一 版
每冊定價 (8)0.62 元 一九五五年四月第一次印刷

目 錄

出版者的話	4
緒論	5
I. 理論或方法	7
II. 主要的計算方法	12
1. 不考慮受拉區域混凝土作用的計算方法	14
2. 考慮受拉區域混凝土作用的計算方法	26
III. 數學統計的一些概念	51
IV. 選擇分析用的試驗	62
V. 試驗的分析	64
1. ЦНИПС 1933 年的試驗	64
2. 鋼筋混凝土德意志會議的試驗(通報 66)	68
3. ЦНИПС 1947 年的試驗	76
4. К.И. 別蘇赫夫(Безухов)及該巴烏魯(Гebaуap)的試驗	88
VI. 從 И И ТУ-3-49 的計算方法過渡到本書建議的方法	90
VII. 撓度	92
VIII. 結論	95
附錄	97
參考文獻	100

出版者的話

M. Я. 什塔也爾曼(Штаерман)以許多計算資料作為本書的基礎，這些資料與工業及民用建築鋼筋混凝土結構設計標準所用的資料是不一致的。

本書作者以衆所週知的、按破壞階段計算的原理為出發點，建議在選擇鋼筋混凝土受彎構件的斷面時，考慮受拉區域混凝土的作用。

為了證明按建議方法計算的結果與試驗資料能很好地符合起見，M. Я. 什塔也爾曼教授引用數學統計的方法分析了許多試驗研究的結果。

作者在某些計算方法上的辯論，在現階段還不允許作為計算及設計鋼筋混凝土結構的方法。

出版者請求讀者們給本書以批評，可寄給：莫斯科，特列奇亞高夫斯基大街 1 號。

緒 論

當蘇聯在規模巨大的範圍內進行建設事業時，雖然在鋼筋混凝土結構中節省很小百分數的鋼筋，也將給國民經濟以可以感覺到的效果。

目前，在鋼筋混凝土結構中，基本上採用強度的安全係數 k 為 2。實際上這個係數常是相當高的，其後果就是過分地耗費寶貴的建築材料。

安全係數常被正確地稱為“無知係數”。如果我們能够精確地了解所有那些建築物強度所依賴的變動因素，那麼我們就可以使強度的儲存減到最小。隨着科學的發展，我們將可以更完備地了解建築材料的性質及結構工作的特點；因此，強度的儲存就可能而且應當更減小，建築物也可以建造得更妥善更經濟。

在相當長的時期中，鋼筋混凝土結構的計算一直是用唯一的所謂“古典”的計算方法，這方法基於兩個主要的原則：

- 1) 計算是根據彈性理論的原則來進行的。
- 2) 不考慮受拉區域混凝土的作用。

第二個原則的根據是這樣的：受拉區域混凝土形成裂縫，因此被認為不能參與鋼筋混凝土構件的工作，對構件的承重能力沒有影響，可以不把它們估計在內。這種武斷的說法是不正確的，它錯誤地解釋了鋼筋混凝土結構的工作情況而過度地耗費材料。

鋼筋混凝土“古典”理論的學者們實質上只機械地綜合了鋼料與混凝土的特性；其實，兩種材料在鋼筋混凝土內部相互影響，其本質是改變了的。

舉例來說，鋼料對混凝土的一種影響表現為：裂縫的形成在有筋混凝土及無筋混凝土內的發展是有差別的。裂縫的數目及其寬度在兩者都不相同。某些研究者曾經設法證明：混凝土內鋼筋的存在會延遲裂縫形成的時間。

混凝土對鋼筋的影響則表現為：鋼筋的屈伏限值及強度限值在鋼筋混凝土工作時獲得增高，這對結構承重能力的影響是有利的，它可以節省用料。

另一種鋼筋混凝土理論的產生了，它並不以假想的材料性質的簡單綜合為根據。鋼筋混凝土的“古典”理論不考慮這些極其重要的情況，我國的學者則在這方面作了很多的辯論。

鋼筋混凝土的理論不估計這些情況，就不能符合材料的實際工作情況。蘇維埃的專家們首先放棄了“古典”理論，並轉到按破損階段的計算方法，他們首先放棄上面所談到的兩個主要原則中的第一個，而第二個原則，也就是忽略受拉區域混凝土作用的原則，則仍認為有效。

在目前的工作中，仍在進行設法證明這個原則的不正確性。

某些專家不同意受拉區域混凝土對鋼筋混凝土承重能力的影響是有利的，但往往藉緘默來迴避許多混凝土梁的試驗結果，這些結果表明鋼筋的計算應力不僅超過屈伏限值，有時也超過強度限值。

這種現象應如何解釋呢？一般的鋼筋混凝土理論不能答覆這個問題。

歷史上的許多例子說明了：某一時期佔統治地位的理論如果沒有辦法來解釋某些現象，那麼，終會有旁的理論來代替它。任何理論，不管它如何嚴整有趣，都應當通過試驗來驗證；而且如果它的真實性無法證實，那就應當無條件地摒棄。可以斷言，所有新的理論之產生是因為有一些試驗無法用現有的理論加以闡明之故。

許多擁護受拉區域混凝土可以忽略的學者們，在鋼筋混凝土理論構成之際，為了自己，而力求排斥這一條確定不移的規律。但是科學是不能忽略事實的。

作者對 A. H. 高爾莫哥羅夫 (Колмогоров) 院士在數學統計問題上的意見及確定 $\sigma_{\text{ноб}}$ 公式方面的建議表示感謝，並對技術科學博士 B. H. 葛斯切夫 (Гастев) 教授及技術科學博士 И. И. 卡門傑夫 (Камеицев) 教授給予本文的寶貴指示表示感謝。

1. 理論或方法

蘇聯的建築工業中央科學研究院 (ЦНИИ) 和別的許多研究院正在為創建有科學根據的鋼筋混凝土理論而進行深入的研究工作。這種理論是不能在短時期內建立的，而已有的成就又不足以從各方面來論證許多計算的公式。因此，在許多情況下，就不得不暫時還使用那些以試驗資料為根據的經驗公式。

創建鋼筋混凝土理論的困難是和精確地決定材料性質的極端複雜性有關的。

我們來談一談鋼筋混凝土的幾個特點：

混凝土：混凝土的質量依賴許多因素。這裏可以提出的有：水泥的質量及用量，填料的質量，水的用量及質量，混凝土的養護等。

混凝土的科學已漸趨完善，因而，規定的安全係數是可以減少的。德國的標準在 1907 年規定混凝土的安全係數為 10，1916 年減為 5；最後定為 3，而我國所採用的安全係數則約近於 2。

我們是否已經學會了按事先規定的質量來作出混凝土呢？對於這個問題，在多數情況下，無法肯定回答。甚至同一堆混合物所作出的立方塊，其強度往往相差到 ±15%。

混凝土試件試驗的結果要視許多因素而定。譬如試件加荷重時，加得快的要比加得慢的强度高些，相差可以達到 20~25%。

試驗的結果也要看試件的形狀及尺寸來決定。除此以外，從試驗室轉到實際結構時，混凝土的工作情況又增加了更多的不定因素。

混凝土的彈性模量也依賴許多條件。和這個問題有關的是：齡期、混凝土試件養護情況、應力數值、加荷重時間的長短及速度、

混凝土的成分及質量等。

有些專家認為混凝土是脆性材料，而另一些則認為它是彈塑性材料。但是，長期荷重可以引起混凝土的蠕動，因此，它也可能屬於膠塑性材料。

我們提醒讀者特別注意柱子的試驗。在加荷重的最初階段，混凝土與鋼筋間荷重的分配大致符合鋼與混凝土的彈性模量。隨着時間的進展，混凝土由於蠕動而逐漸卸載于鋼筋。

在這方面我們可以舉一個例子。一個長 130 公分，斷面 30×30 公分的柱子，鋼筋百分率為 5.5%，承受 100 噸的荷重。加荷重後第十三天鋼筋應力為 1,176 公斤/平方公分，混凝土應力為 54.5 公斤/平方公分；經過 32 天，相對應的應力是 1,449 及 38.8 公斤/平方公分，經過 397 天是 1,680 及 14 公斤/平方公分；而經過 1,098 天，鋼筋的應力增加到 2,100 公斤/平方公分，混凝土應力則降至 0.5 公斤/平方公分。

混凝土收縮起着極大的作用，按某些資料來看，這是混凝土中孔隙的毛細管張力所致。這個現象也還沒有完全得到結論。

有些研究者認為混凝土狀態的變動性在於：混凝土是假的固體，在它裏面可以同時觀察出物質的三種物理狀態：固體的（混凝土的骨架）、液體的（水）及氣體的（混凝土孔隙中的空氣）。隨着外界狀況的改變（溫度及濕度），不同狀態物質在數量上的關係改變了，從而在一定程度上改變了混凝土的性質。例如，佛列伊辛（Фрейсин）就認為，即使在試驗室裏也不可能按事先給出的條件來作出相同的混凝土試件，儘管試驗室裏已經有可能規定出使試件統一的方法。

但是，如果在試驗室裏作出性質相同的試件已經這樣困難，那麼，在建築場所要獲得預定性質的混凝土就更加困難了。例如，距結構表面近的混凝土水分較距離表面遠的脫離得快些。柱子下部的混凝土，在建築時由其上部的混凝土處獲得荷重，其強度就比上層混凝土來得大。

雖然這樣，我們也證明了在這方面，認識的方法會逐漸改進；

工程師們一步一步地掌握起混凝土的科學，使它的性質受到管轄並且賦予它以我們所希望的性質（如膨脹混凝土，無收縮混凝土）。但是目前畢竟不得不認為：爲了可以有根據來建立十分精確而完備的鋼筋混凝土理論，那麼關於混凝土的知識仍然還是不夠的。

結構的計算：大家知道，只有在應力很小的時候，鋼筋混凝土受變構件才服從彈性理論的規律；而當應力相當大時，實際的規律如何我們還不知道。現有標準所採用的和主拉應力計算方法有關的理論根據是很不夠的。

這裏適當地指出，鋼筋混凝土的“古典”理論，不管它的嚴整性如何，它在切力的計算上也是沒有根據的。很隨便地使 20% 的切力由混凝土來承受，而其餘的 80% 則由蹬筋及彎起鋼筋來承受。

混凝土能夠傳遞這部分力量就預定了混凝土內沒有裂縫，可是同時鋼筋的容許應力 1,000~1,250 公斤/平方公分只有當混凝土內有裂縫時才是可能的；計算是有條件的，但也是不合邏輯的。

但是，試驗證明了這些規定是十分妥當的；它們之所以還繼續存在着，是因爲這個問題的任何一種解決辦法對結構造價的影響都是極其微小的，所以，沒有任何根據來修改這些規定。

彎析計算的構成也沒有足夠的理論根據。我們試研究一下構件受偏心壓力的計算。在這個問題上“古典”方法的理論概念多多少少還是徹底的；我們標準中的一些公式係建築工業中央科學研究院所建議的，它們是經驗公式，沒有什麼充分的理論前提。

偏心受壓的第二種情況是柱斷面的一部分受拉，破損從受壓區域開始，我們沒能找到理論上的根據，可是却得到一些經驗公式。以 12 個試驗爲基礎，得到受壓混凝土合力對於鋼筋的平均彎矩值：

$$M = 0.421 b h^2 R_u$$

其係數上下的幅度從 0.364 到 0.495（差值大於 35%）。這個公式在標準中用整數係數 0.4①。

註① “設計與標準”，№6，1956。

我們再來談一談混凝土在彎曲時的抗壓強度 R_n 與其立方強度 R 的比值問題。A. A. 哥涅斯傑夫教授^①(Гвоздев)關於這個問題這樣寫道：“但是，對於彎曲構件來說，應當如何來了解混凝土的極限抗壓強度呢？……洛林特教授建議採用立方強度。某些權威認為混凝土在彎曲時的極限抗壓強度接近其立方強度。……斯脫累羅夫(Столяров)教授不用立方強度而用長直強度；本文作者以前也支持過這個意見。最近則證明了，立方強度比起長直強度來，畢竟應該認為更接近於彎曲時的極限抗壓強度”。

我們同意這種看法。以後將證明，混凝土在彎曲時的強度在上述限界內本身對於一般的結構起不了什麼作用。因此，這種爭論沒有實際價值。

為了把混凝土立方強度換算成彎曲時的強度，特介紹下述的計算方法。

開始時必須按 ИИИИО (建築工業中央科學研究院)的經驗公式決定長直強度(哥涅斯傑夫教授)：

$$R_{mp} = \frac{1,300 + R}{1,450 + 3R} \times R.$$

然後，同樣按經驗公式決定彎曲時混凝土的強度限值：

$$R_n = 1.25 R_{mp}$$

再作進一步的換算將使問題的“抽象議論”跑得太遠，特別是如果我們回憶起所有這些都是屬於混凝土的時候，正如上面所說其試件強度的變動性是極大的。

綜括以上所述，可以認為，我們的標準所採用的鋼筋混凝土構件計算方法，比起理論來還是經驗多一些，所以，更正確地是稱之為計算方法。

計算方法可以通過試驗來證實，這沒有什麼不好的地方；相反的，這是創建最適當的計算方法的最正確的道路。可是，雖然這樣，還必須作出更進一步合乎邏輯的結論，如果有可能依靠試驗並通

註① A. A. 哥涅斯傑夫“論鋼筋混凝土結構計算方法的修改”，國家建築技術書籍出版社，1934，第19頁。

過試驗來肯定某些計算方法的改進，那麼，就應當利用這種可能性。

在鋼筋混凝土領域內，所進行的試驗數量是很多的。這正因為鋼筋混凝土的研究者們了解到，鋼筋混凝土的“理論”是不太靠得住的，所以每一個假定都要經過多次試驗的審查；以證明這一個或那一個假定能保證足夠的。最好是能保證有剩餘的安全係數。

但是，過多的安全係數使費用增加太大，因而完全沒有好處；同時正如下面將要講到的近代的結構都是不等強度的，這就是說有些地方的安全係數太大。有些地方似乎恰到好處，而結構將在最薄弱的地方破壞，將材料過分地用在強的地方是不合算的。

彈性理論與材料力學，也就是舊的（“古典的”）鋼筋混凝土理論所依據的科學，是經過幾個世紀才創造出來的。蘇聯所用的新理論，其發展總計約為 20 年，但在這短短的時間內，蘇維埃的學者們還是作到了解決幾乎所有鋼筋混凝土結構計算的主要問題。

我們的研究院在這方面的研究工作繼續進行着，在不久的將來，蘇維埃的學者們對於靜定結構，更重要的是對於超靜定結構將會創造出嚴密的鋼筋混凝土理論。

這裏適當地指出：蘇維埃的學者們正在研究按極限狀態來計算工程結構的辦法，這不僅是爲了鋼筋混凝土結構，也同樣爲了其他的建築結構。

這個研究工作的成就，在工程建築物的計算及設計方面，將開闢一個新的紀元。

在這方面，蘇聯是世界上佔主導地位的國家。但在這個時候構成鋼筋混凝土嚴密的理論，終究還缺乏足夠的前提。正如上面所指出的，鋼筋混凝土的一個重要的組成部分——混凝土本身——研究得很不夠，以致無法來創建嚴密的理論，鋼筋混凝土的計算方法仍須直接以試驗結果爲根據。當然，爲了建立嚴密的理論，就必須對混凝土作更進一步的研究，在一定的時期內還不得不局限於更平凡的但却是十分重大的任務上，這任務就是要建立正確的計算方法。

正確的鋼筋混凝土理論只能有一個；但計算方法却可以有好多

多個。

計算方法應當滿足什麼條件呢？

主要的要求是計算能够更密切地符合試驗結果。在遵守這個條件時，計算方法所假定的前提，在最大的程度上顯然是基本符合結構工作時所發生現象的本質的。

遵守這個條件將易於使結構的造價降到最低限度。

要做到計算與試驗結果理想地符合是不可能的；某些偏差是無法避免的。

如何解決這一個或那一個計算方法的精確程度及含宜性呢？

這可以藉助於數學統計，用它就能夠算出試驗結果收斂的程度。

II. 主要的計算方法

按“古典”理論，構件係根據工作階段來計算的，也就是在使用荷載作用時來計算構件。構件被認為在彈性狀態階段進行工作；因此，可以利用彈性理論的法則。在這個階段，鋼筋混凝土構件是內力超靜定的結構，要計算就必須採用兩種材料的彈性模量。彈性模量的比值 n 有的國家用 15，有的用 10；有些國家則把這個比值當作變數。材料中的應力與臨界應力相較是具有一定的安全係數的。而且，按照慣例，受壓混凝土的安全係數大於受拉鋼筋所用者。受拉區域混凝土的作用不予考慮（圖 1）。

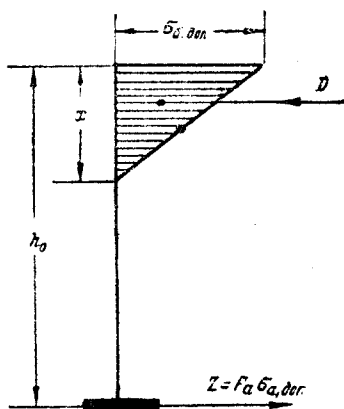


圖 1.

當應力的增長與荷重不成比例時，不能利用容許應力的計算方法。其原因早已為人們所了解。回憶一下縱向彎曲的問題就夠了。受縱向彎曲的構件已按破損階段來進行計算。

鋼筋混凝土中兩種材料的應力與荷重終是不成比例的。當鋼筋到達屈伏限值時，混凝土壓應力普通比起來是不太大的（要看鋼筋百分率如何而定）。鋼筋達到屈伏限值以後裂縫愈來愈擴大，而鋼筋的拉力幾乎沒有改變，可見，混凝土內的壓力也沒有改變。但是，由於裂縫加深，混凝土受壓區域的高度 x ——受壓圖形的垂直邊——減小了。這就是說，受壓圖形的水平邊——混凝土應力——應當增大。這樣逐漸地幾乎沒有增加荷載，混凝土中的應力也達到了破損應力。

我們不再討論關於彈性理論的法則對於鋼筋混凝土是否實用的問題，但是，必須指出，實際的（量得的）應力與計算的應力是不符合的。“古典”理論在應有的程度上沒有反映鋼筋混凝土結構的實際工作。

本書作者研究了上述情形，還在1932年^①就建議用一個新的計算方法，這方法的根據是下面的兩個原則：

1) 不按“古典”方法所用的容許應力而按照破損應力（極限應力）來進行計算。

2) 考慮受拉區域混凝土的影響；這種影響“古典”方法不予考慮，因而使結構實際的承重能力較計算所得的大，並且多消耗材料。

如果只採用第一個原則而放棄第二個原則（現行的標準正是這樣的），那麼，實際與計算的承重能力兩者之間的差別仍然存在；材料用量幾乎沒有改變。受壓區域有鋼筋的受彎構件是一個例外，它在計算時還需要按照“古典”理論。但是這種情形對於一般的鋼筋混凝土材料用量是不會有明顯的影響的。因此，不考慮第二個原則的方法很少接近彎曲構件的實際及計算的承重能力，應當被看作不符合實際、不符合經濟的要求而加以修正。

最初，作者提出上述建議時曾被專家們完全拒絕。A. Д. 洛林特 (Лорент) 教授當作者作關於這個問題的報告時，他也曾在場，他

註① 作者在1932年1月17日及27日在納爾克姆斯納勃科學技術協會會議上曾報告這個方法。

的結論是相反地，1932年2月他在第II次混凝土與鋼筋混凝土全蘇會議上充當按臨界應力計算方法的辯護人（在列寧格勒）。而且他還建議考慮受拉混凝土的塑性使問題趨於複雜。漸漸地需要製定新計算方法的思想開始爭取到更多的擁護者了。

ЦНИПС 的試驗證明了洛林特教授的建議——考慮受拉區域混凝土的塑性——是沒有根據的，而且不能承認按臨界應力的計算方法比“古典理論”有什麼真正優越之處。

鋼筋混凝土結構過渡到新計算方法的主張在專家中間掀起了熱烈的爭論。

在有關鋼筋混凝土的會議上和專門性的雜誌和書籍的篇幅中，展開了廣泛的爭論。

ЦНИПС 的鋼筋混凝土結構試驗室在 А. А. 哥涅斯傑夫教授領導下進行了大量的試驗，在某些範圍內給出了闡明一些模糊的及值得爭論的問題的可能性，確定了許多實際計算所需的係數等。

作者所建議的計算方法在其著作裏有所闡述^①。過去這一段時間內出現了大量有關這個問題的書籍和論文；出現了一些其他不同的建議。

我們來談一談所建議的主要計算方法。

1. 不考慮受拉區域混凝土作用的計算方法

根據 ЦНИПС 的建議，1938年的標準 (ОСТ 90003-38) 規定壓力曲線為三次拋物線形。

這裏不妨回憶一下這個問題的發展過程。洛林特教授最初建議受壓應力的曲線用簡單的三角形，而隨後代之以本質上是曲線圖形的梯形曲線。

混凝土在彎曲受壓時的強度限值

$$R_n = 1.25 R_{np}$$

R_{np} 的數值根據它與 R 之間關係的經驗公式來確定

註① М. Я. 什塔也爾曼，鋼筋混凝土結構計算的新方法，Мисоххадстрой 出版，1932年；同書，Мисоххадстрой 出版，1933年；同書，Пидпромиздат 出版，1935年。

$$R_{np} = R \left(0.85 - \frac{R}{1.720} \right)$$

鋼筋應力在破損時採用其屈服限值 σ_r (圖 2)。

根據上述原則，我們求得下面計算破損彎矩的公式

$$M_p = R_n b h_0^2 \alpha (1 - 0.53 \alpha)$$

式中 $\alpha = \frac{\mu \sigma_r}{R_n}$

μ 為鋼筋百分率

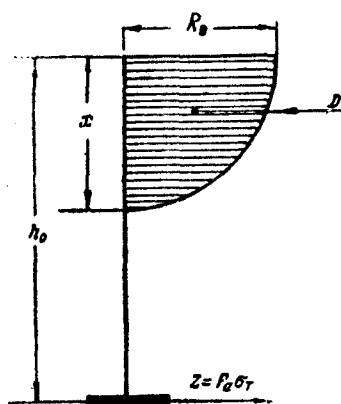


圖 2.

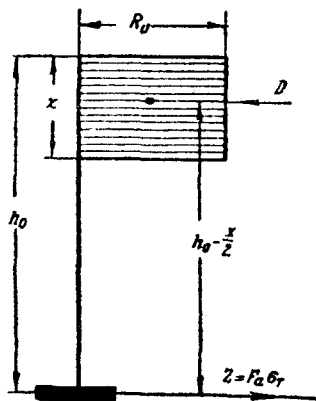


圖 3.

根據 ЦНИПС 的建議 R_{np} 可由另一經驗公式來決定

$$R_{np} = \frac{1,300 + R}{1,450 + 3R} R$$

按 1948 年的標準 (Н П ТУ-3-49), 壓力曲線採用矩形 (圖 3) ①, 因此 M_p 的計算公式為下述形式

$$M_p = R_n b h_0^2 \alpha (1 - 0.5 \alpha)$$

兩個計算公式都是在 $\alpha \leq 0.5$ 時有效。

某些外國的專家所建議的計算公式，與 ЦНИПС 建議的公式稍有不同。

註① П. Л. 帕斯切爾納克教授的建議。

達伊松 [2]① (Дайсон), 採用另一種形狀的壓力曲線, 得到的公式為

$$M_p = R_{np} b h_0^2 \alpha (1 - 0.54 \alpha)$$

其不同之處就在 $\alpha = \frac{\mu \sigma_r}{R_{np}}$, 也就是說, 代替 ЦИИНС 方法中的 R_{np} , 達伊松採用了 R_{np} (圖 4)。

羅西 (Ром) 所用公式幾乎與上式相同, 只不過 α 前的係數不用 0.54 而用 $\frac{8}{15}$; 因此差別不大。

西瓊斯 (Штросс) 的解答也是類似的, 只是 α 前的係數等於 0.55。西瓊斯建議: 當鋼筋百分率在 0.043 ~ 0.2% 之間時, 由於鋼筋到達屈伏限值而開始破損; 而當鋼筋百分率較高一些時, 破損從受壓區域開始。這種限制不能被認為是正確的, 因為除了鋼筋

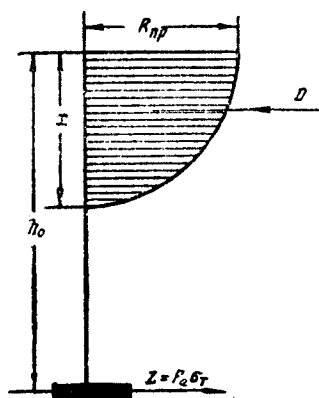


圖 4.

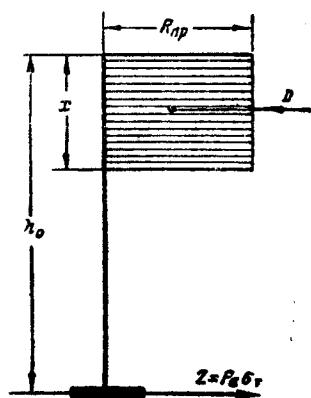


圖 5.

百分率以外, 鋼筋的屈伏限值及混凝土質量都有意義。

沙里該爾 (Залгер) 建議了幾個計算方案。其中的一個以混凝土的壓力曲線為矩形, 其長度即 R_{np} (圖 5)。符合這個形狀的公式很像 ЦИИНС 的公式

$$M_p = R_{np} b h_0^2 \alpha (1 - 0.5 \alpha)$$

其差別在於公式中各處均以 R_{np} 代替 R_{np} 。

註① 方括弧內號碼表示參考文獻的號碼。