

Original notes by Professor Mike Gunn, South Bank University, London, UK Produced by the CRISP Consortium Ltd

## Определение параметров модели критического состояния по результатам лабораторных испытаний

Приведенные ниже параметры используются в программе CRISP, которая применяется при численном расчете напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований. Эти параметры используются в модели грунта Cam Clay.

### 1. Определяемые параметры: $M, \Gamma, \lambda, k, p_c, E, \nu$

$M$  – угол наклона линии критического состояния зависимости  $q = Mp'$ ;

$\Gamma$  – начальное значение удельного объема;

$\lambda$  - угол наклона кривой консолидации зависимости  $v = \Gamma - \lambda \ln p'$ ;

$k$  - модуль объемной деформации;

$p_c$  - среднее давление, соответствующее величине предварительного уплотнения грунта;

$E$  – модуль деформации;

$\nu$  - коэффициент поперечной деформации

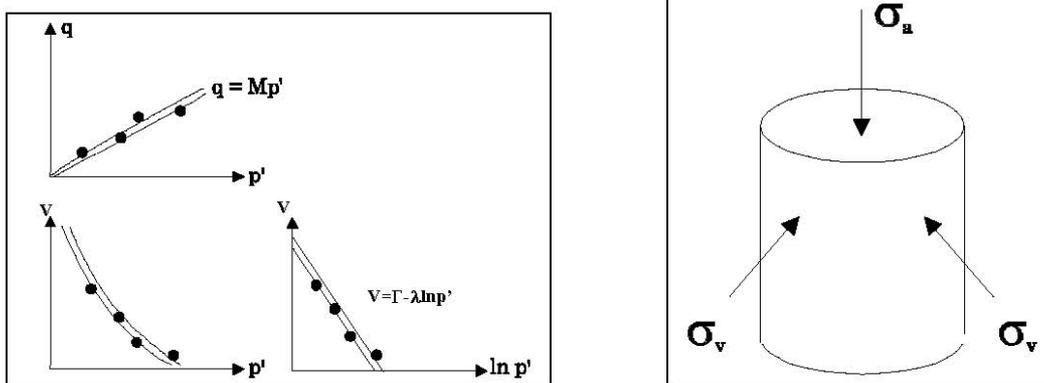


Рис. 1. Зависимости, используемые при определении параметров (а) и схема нагружения образца грунта в условиях осесимметричного трехосного сжатия (б)

В теории критического состояния предполагается, что параметры  $M, \Gamma, \lambda$  являются постоянными и не зависят от свойств грунта, а  $p^c$  зависит от предыдущих условий нагружения грунта. В естественных условиях величина  $p^c$  увеличивается с глубиной.

Каждый элемент грунта в основании сооружения испытывает траектории

напряжений, которые показаны на рис. 2.

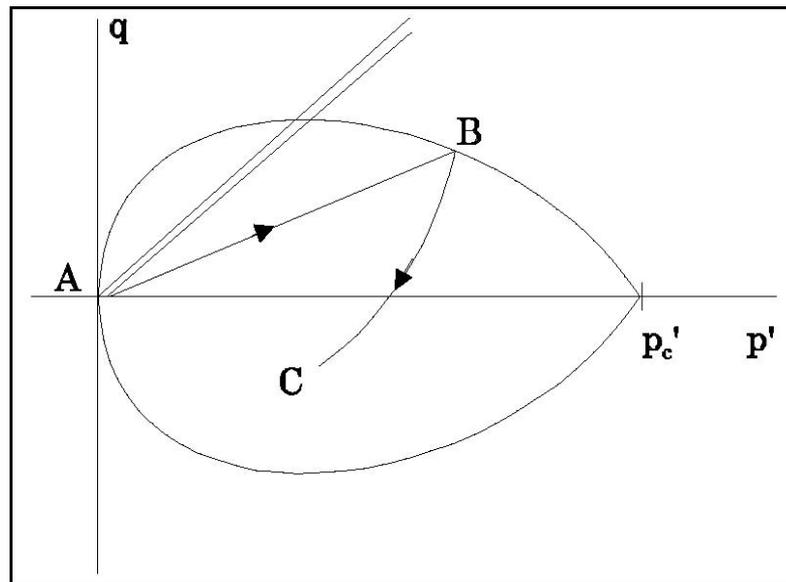


Рис. 2. Траектории напряжений

AB – траектория первоначального сжатия в естественных условиях;  
 BC – траектория разгрузки также в естественных условиях, например вследствие эрозии или изменения уровня грунтовых вод, приводящие к переуплотненному состоянию грунта.

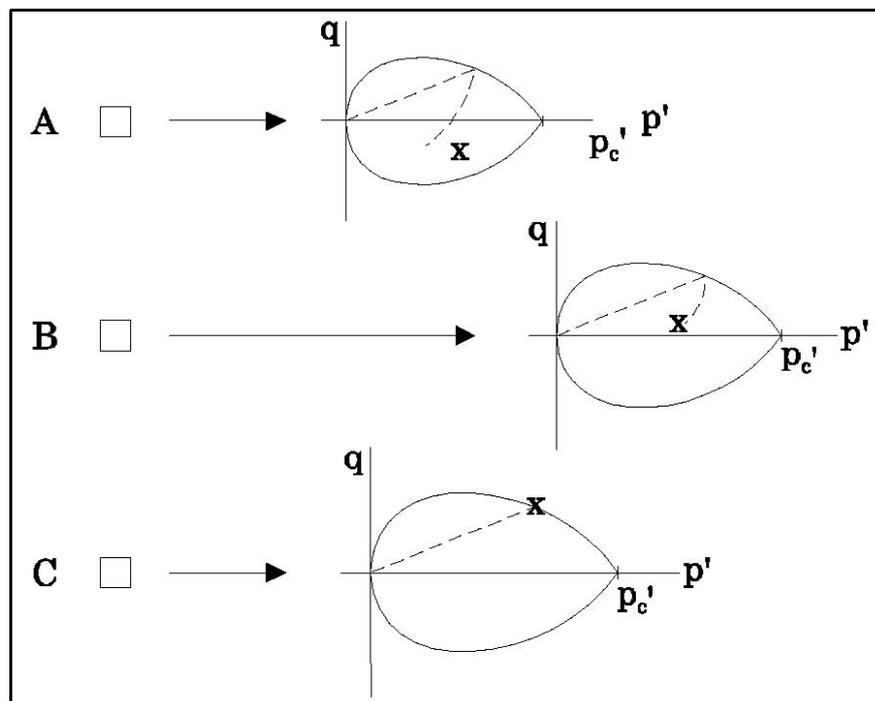


Рис. 3. Уровень напряженного состояния

На рис. 3 индексом «х» показано текущее эффективное напряжение. Расстояние между «х» и поверхностью текучести в каждом случае (рис. 3) определяет величину упругой деформации, прежде чем начнется пластическое течение. Следовательно важно получить точную оценку значения  $p^c$ , если модель критического состояния (CSSM) применяется для определения деформаций и предельного состояния в грунтовых основаниях.

## 2. Методика проведения испытаний в условиях трехосного сжатия с целью определения параметров модели критического состояния

Испытания проводятся по траектории сжатия (ТС) при постоянном боковом давлении  $\sigma_v = 2\sigma_3$ , принимаемого равным 50, 100, 200 и 300 кПа.

В зависимости от естественного состояния грунта и будущих условий нагружения основания испытания могут быть выполнены в условиях дренированного и недренированного нагружения.

Перед испытаниями образцов грунта они должны быть консолидированы известным эффективным бытовым давлением, а дополнительное нагружение должно быть выполнено до больших деформаций, так чтобы гарантировать возникновение в образце грунта критического состояния. Это состояние определяется отсутствием изменения объема в процессе прогрессирующего разрушения. Если теперь отобразить предельные значения измеренных величин в ходе трехосных опытов в координатах  $(p', q)$  и  $(\ln p', v)$ , то из них можно найти параметры  $M$ ,  $\Gamma$  и  $\lambda$  (см. рис. 1).

Испытания могут быть дренированными или недренированными (медленными, с измерением порового давления).

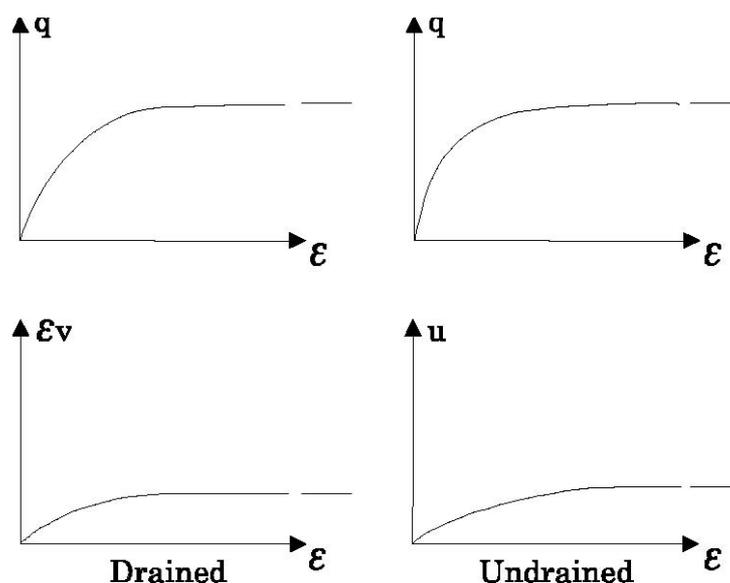


Рис. 4. Результаты дренированных и недренированных испытаний

В отличие от рис. 4 на рис. 5 приведены результаты испытаний

переуплотненных образцов грунта. Эти испытания проведены при непрерывном изменении осевой деформации. Из рис. 5 видно, что критическое состояние возникает на более низком уровне напряжений, по сравнению с пиковым значением девиатора напряжений.

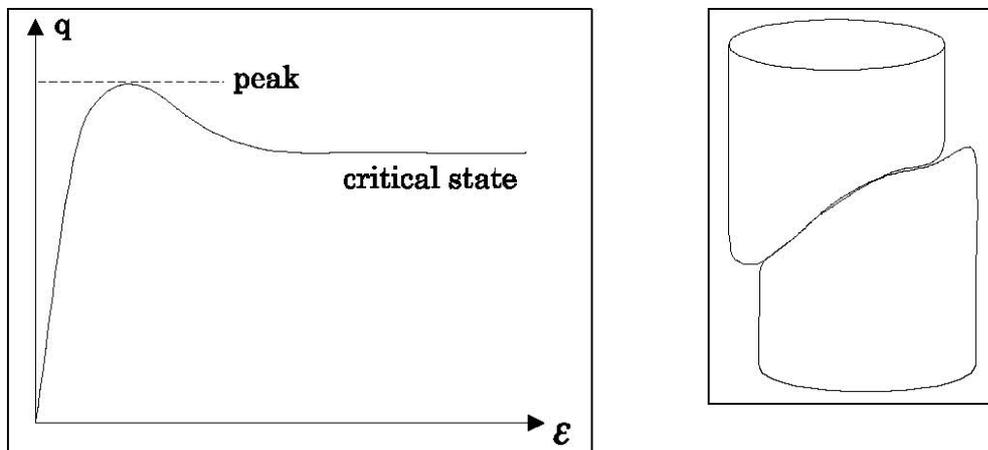


Рис. 5. Пиковое и остаточное значения прочности (а) и форма деформации образца при больших деформациях (б)

Пиковая прочность соответствует точкам, которые находятся выше линии критического состояния, в области, которая показана заштрихованной на рис. 6.

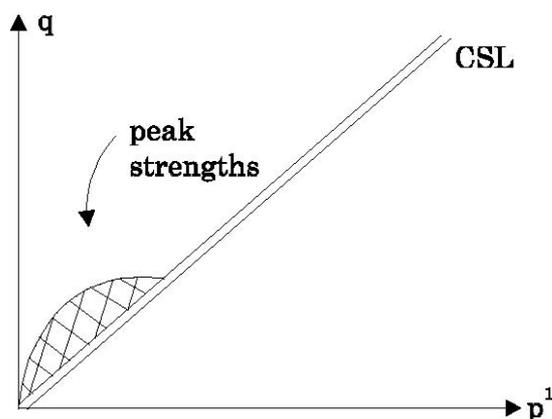


Рис. 6. Область пиковых значений прочности

Неразумно применять пиковую прочность при проектировании так как средняя мобилизованная прочность всегда меньше чем пиковая.

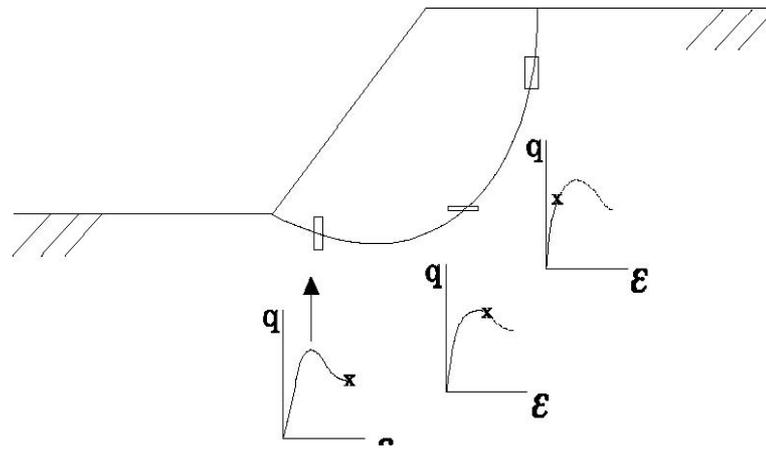


Рис. 7. Места на поверхности скольжения с различным значением прочности

Параметры  $\lambda$  и  $k$  могут быть найдены из дренированных испытаний с циклом нагрузка – разгрузка в приборе трехосного сжатия (рис. 8).

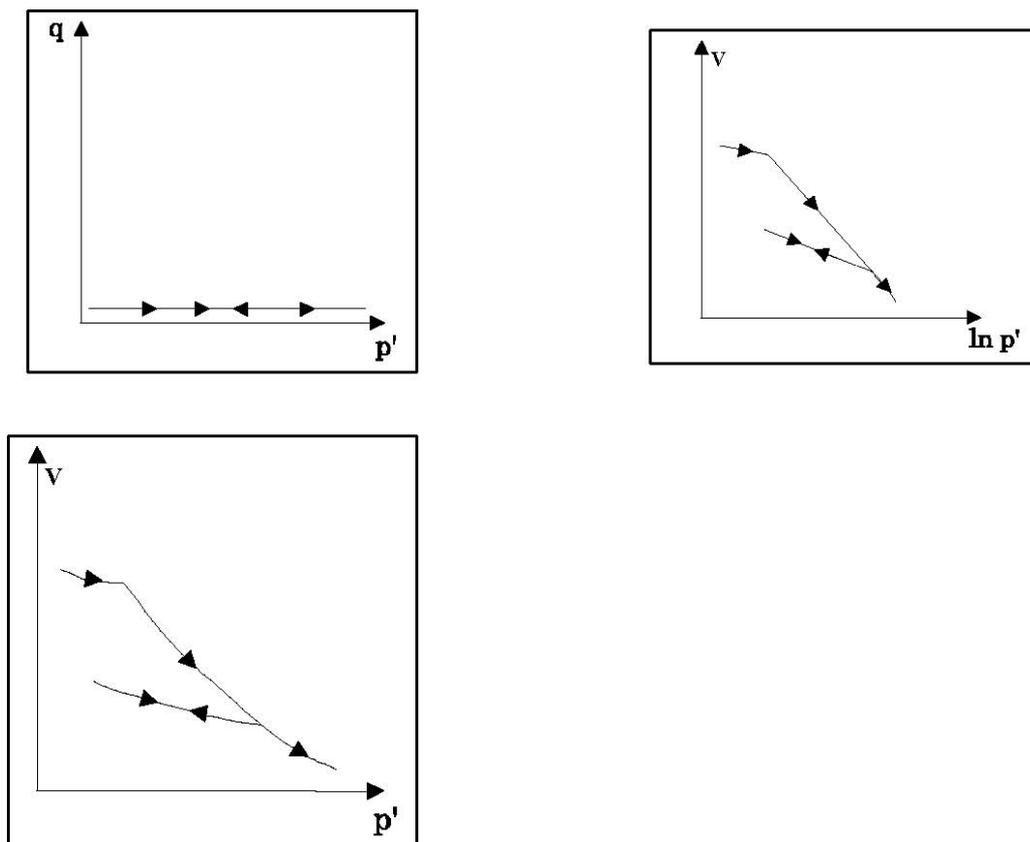


Рис. 8 . К определению параметров  $\lambda$  и  $k$

### 3. Испытания по различным траекториям

Различные типы испытаний (трехосное сжатие, трехосное расширение) могут давать различные значения  $M$  и  $\lambda$  (частично и для  $k$ ) и могут изменяться с уровнем напряжений или степени разгрузки.

С целью исключения этого влияния образцы грунта подвергаются повторной консолидации до уровня эффективных напряжений существующих в месте отбора образца грунта, а траектория напряжений выбирается такой, чтобы она отражала реальное нагружение основания в процессе строительства здания или сооружения.

На рис. 9 показано напряженное состояние в элементе грунта в основании различных конструкций.

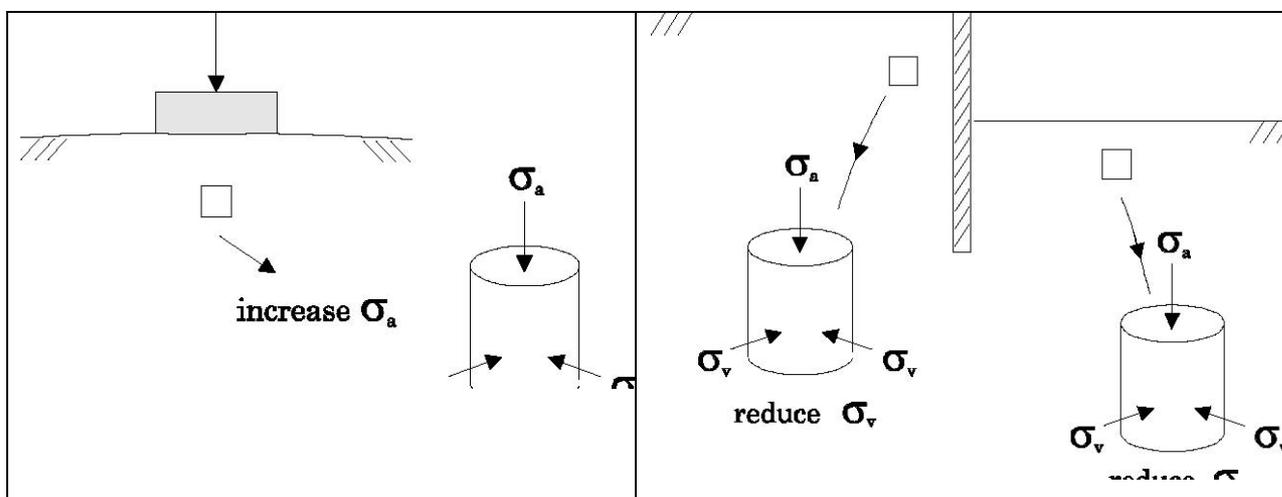


Рис. 9. Траектория нагружения образца грунта

а – в основании жестких фундаментов и плит; б – ограждение котлована в виде заглубленной шпунтовой стенки

### 4. Компрессионные испытания

Модель Кэм-Клей допускает также определение параметров  $\lambda$  и  $k$  из результатов испытаний в обычных компрессионных приборах в условиях одномерной деформации (рис. 10). Из стандартных испытаний можно получить параметры  $C_c$  и  $C_s$ , используя которые можно найти параметры  $\lambda$  и  $k$ .

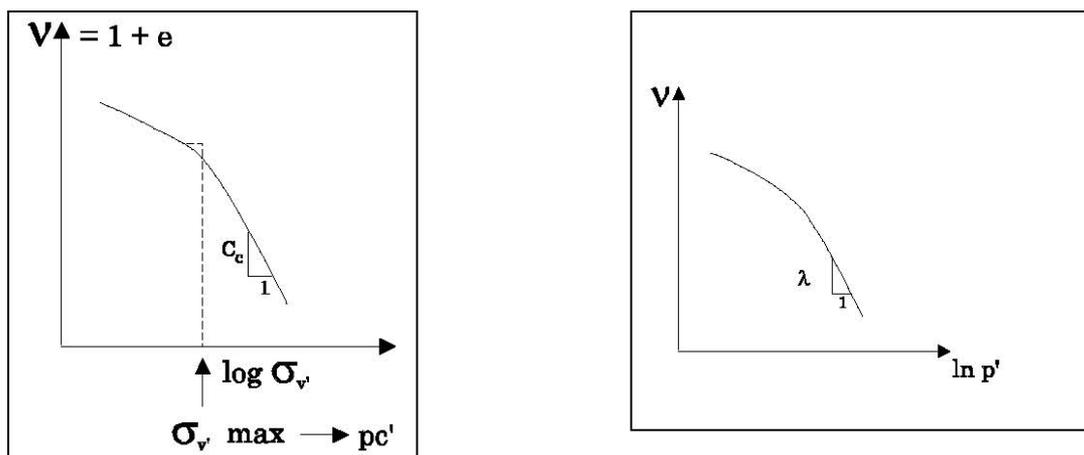


Рис. 10. Испытания в компрессионном приборе (а) и приборе трехосного сжатия (б)

На рис. 10  $\sigma_v$  - полное давление, равное бытовому, а  $p'$  - среднее напряжение в образце грунта.

$$\lambda = \frac{C_c}{2,3}; k = \frac{C_s}{2,3},$$

где  $2,3 = \ln(10)$ .

## 5. Размер поверхности текучести

Определение начального размера поверхности текучести (рис. 11) производится в следующей последовательности.

Полагается, что в естественном состоянии в массиве грунта боковые напряжения связаны с вертикальными напряжениями от собственного вида грунта зависимостью

$$\sigma_{бок} = K_o \sigma_{верт},$$

где  $K_o$  - коэффициент бокового давления, который в состоянии покоя определяется из выражения

$$K_o = 1 - \sin \varphi.$$

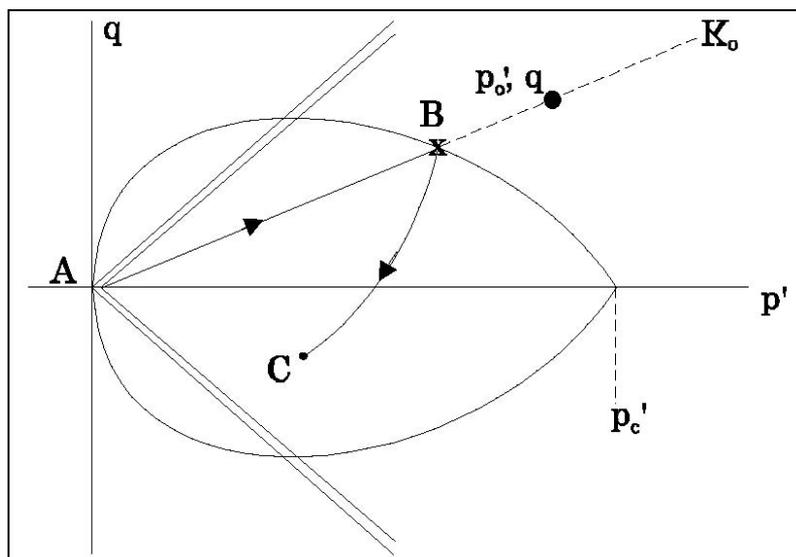


Рис. 14. К определению размера поверхности текучести

Эффективное среднее давление определяется из выражения

$$p'_0 = \left( \frac{1 + 2K_o}{3} \right) \sigma'_{v_{\max}} ;$$

$$q_o = (1 - K_o) \sigma'_{v_{\max}} ,$$

Используя уравнение для поверхности текучести

$$q = Mp' \ln \left( \frac{p'_c}{p'} \right)$$

и преобразовав его относительно  $p'_c$  найдем

$$p'_c = p' \exp \left( \frac{q}{Mp'} \right) ,$$

подставляя в последнее выражение  $p' = p_o$  и  $q = q_o$  получим значение  $p'_c$  в естественных условиях.

## 6. Использование числа пластичности

Рассматриваемая методика применяется для определения параметра  $\lambda$  через число пластичности.

Если предполагается, что прочность грунта на границе пластичности  $w_p$  в 100 раз более прочности грунта на границе текучести  $w_L$ , то

$$\lambda = \frac{V_L - V_p}{\ln 100} = \frac{(w_L - w_p)\rho_s}{\ln 100}$$

или

$$\lambda = \frac{I_p \rho_s}{160}.$$