А.Т.Сатыбаев

ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДА ТЕНЗОМЕТРИИ ДЛЯ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МОДЕЛИ ИЗ НИЗКОМОДУЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Рассматривается вопрос применимости тензометрии для замера деформаций образцов и модели из низкомодульного материала (гипсопенополистирол) с относительно крупными включениями. Анализируют результаты статических испытаний образцов из низкомодульного материала на сжатие с одновременным замером деформаций методом тензометрии и индикаторами часового типа «тысячниками», устанавливается применимость тензометрии для замера деформаций низкомодульного материала.

Существуют множество методов замера статических деформаций образцов: при помощи мессур (индикаторов часового типа), с использованием оптических измерительных приборов, тензометрия и т.п.

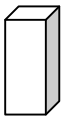
В практике модельных исследований наибольшее распространение получили метод замера деформаций методом тензометрии позволяющий получить большое количество замеров в короткий промежуток времени. Анализ литературных источников показал, что достоверность результатов на многих видах гипсовых и гипсопесчанных образцах с мелкими включениями была обеспечена, однако применимость этого метода замера деформаций для образцов из низкомодульного материала с относительно крупными включениями (гипсопенополистирол) практически отсутствует.

В лаборатории «Скальные основания» кафедры «Механика грунтов, основания и фундаменты» МИСИ им. В.В. Куйбышева были проведены комплекс исследований по выявлению применимости метода тензометрии для измерения деформаций образцов из гипсопенополистиролового материала с относительно крупными включениями (пенополистирол) и полученные результаты исследований были доложены на Всесоюзной научно-практической конференции по измерительной технике в Чимкентском химико-технологическом институте 27-ноября 1986 году.

Поставленная задача решалась путем проведения статических опытов на рычажном процессе (см. рис. 1) с образцами двух разновидностей: первой группы размерами – 4x4x16 см и вторая группа – 7x7x22 см, выполненные из гипсопенополистиролового раствора со следующими соотношениями по весу – гипс:пенополистирол:вода = 1:0,16:1,5. Данные об образцах представлены в таблице 1.

Характеристика образцов из гипсопенополистирола

Таблица 1

Номер группы	Номер образца	Вид образца	Размер образца, axbxh, см	Плотность образца ρ, г/см^3	Примечание
I	С-1-1		4x4x16	0,32	Образцы испытывали статической нагрузкой на сжатие
	С-1-2		4x4x16	0,311	
	С-1-3		4x4x16	0,332	
	С-2-1		4x4x16	0,324	
	С-2-2		4x4x16	0,329	
	С-2-3		4x4x16	0,318	
II	С-1		7x7x22	0,316	
	С-2		7x7x23	0,321	

Возникающие при нагружении образца деформации замерялись с помощью индикаторов часового типа – тысячников на базе $\boldsymbol{t} = 10^{-5}$ производился с помощи

комплекта тензометрической аппаратуры для измерения статических деформаций ЦТК-1 (рис. 2).

Перед опытами подбирались группы тензодатчиков с практическими одинаковыми сопротивлением R=198÷202,2 ом, которые наклеивались на поверхность образца по схемам а и б (см. рис. 2.).

Причем база тензодатчиков сопротивлений подбирался исходя из общих положений тензометрии [1, 2]

$$\boldsymbol{l} \leq \mathbf{5xd^3} \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{l}$ – база тензодатчиков сопротивлений;

$\mathbf{d^3}$ – диаметр зерна (компонент) содержащихся в испытываемом материале.

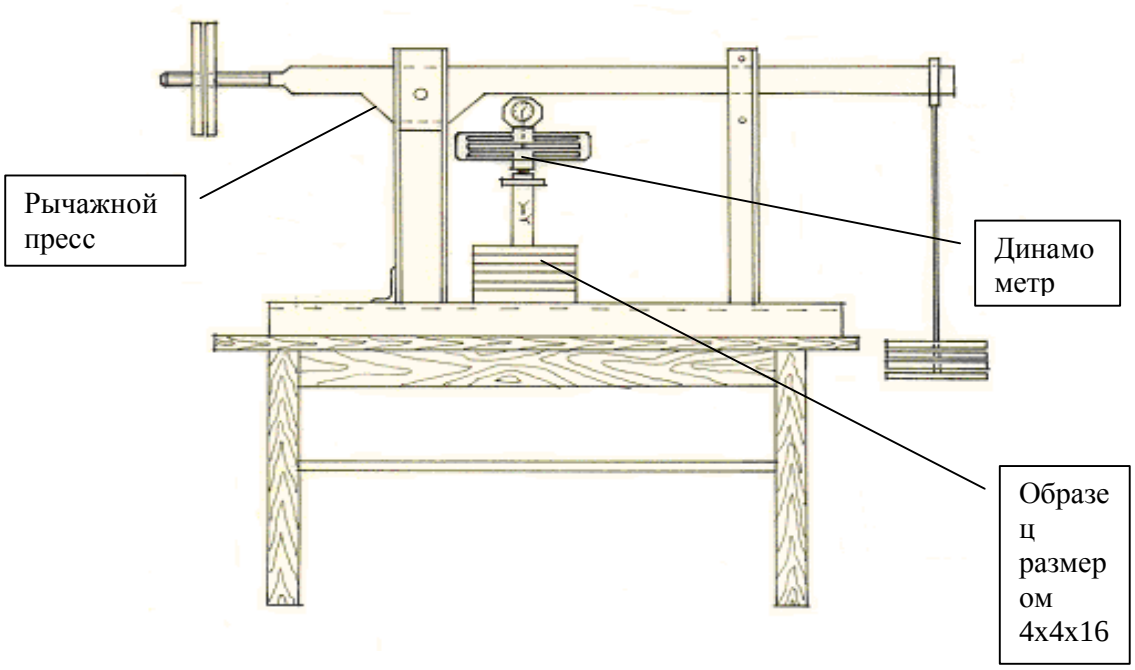


Рис.1. Схема испытаний образцов на сжатие рычажным прессом с соотношением плеч 1:5.

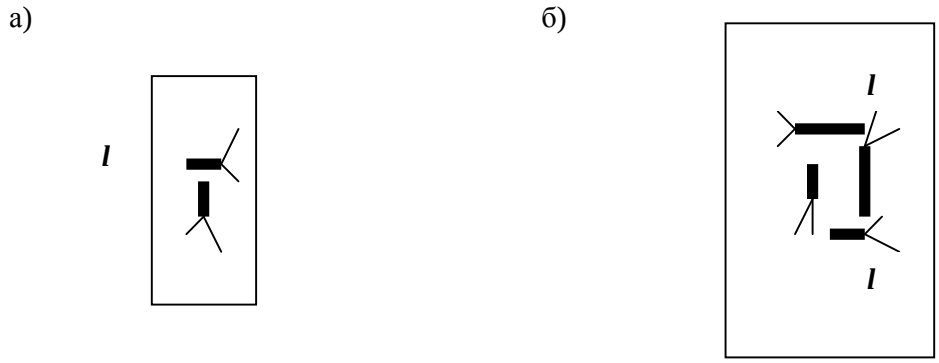


Рис. 2. Схема наклейки тензодатчиков сопротивлений на образцы.

а) на образцы I группы размером 4x4x16 см (8 датчиков $\boldsymbol{l}$ = 10 мм);

б) на образцы II группы размерами 7x7x22 см (8 датчиков $\boldsymbol{l}$ = 10 мм, 8 датчиков l = 20 мм).

Так как диаметр зерна пенополистирола на гипсопенополистироловом образце (и в модели) составлял $d^3 \leq 2$ мм следовательно, минимальная база датчика должна составлять $\boldsymbol{l} \geq 5x2 = 10$ мм. Поэтому были приняты база датчиков $\boldsymbol{l}$ = 10 мм – для образцов I группы и $\boldsymbol{l}$ =10 мм и 20 мм – для образцов II группы.

При наклейке тензодатчиков сопротивлений на поверхности образцов из гипсопенополистиролового материала нами было выявлено, что общепринятая предварительная грунтовка поверхности образца клеевым составом с большим содержанием ацетона недопустима – разъедаются пенополистироловые зерна расположенные на поверхности. Учитывая вышесказанное, наклейку тензодатчиков сопротивлений производили следующим образом:

обезжиривалась поверхность образца техническим спиртом;

наносился тонкий слой клея Т-192 по поверхности образца и тензодатчика сопротивлений;

тензодатчик прикладывался к наклеиваемой поверхности и прижатием пальцев руки удалялся лишний клей;

сверху тензодатчика давался еще один слой клея с целью защиты последнего от влажности окружающей среды.

Одновременно с замером деформаций образца тензометрированием производилось измерением вертикальных перемещений на базах 6÷8 см четырьмя мессурами (индикатор часового типа) с точностью $t = 10^{-3}$мм (см. рис. 3).

При статическом испытании гипсопенополистироловых образцов I и II группы на сжатие рычажным прессом с соотношением плеч 1:5.

Результат определения деформационных показателей приведены в таблице 2, 3 и рис. 4, значения модулей деформации и коэффициента Пуассона образцов обеих групп определялись при нагружении и разгрузке для интервалов напряжений 0 ÷ 200 КПа; 0 ÷ 300 КПа; 200 ÷ 300 КПа; 300 ÷ 0 КПа и 200 ÷ 0 КПа.

Как показал анализ результатов опытов с образцами на сжатие, в обеих группах связь между напряжениями и деформацией описывается слабовыраженной кривой.

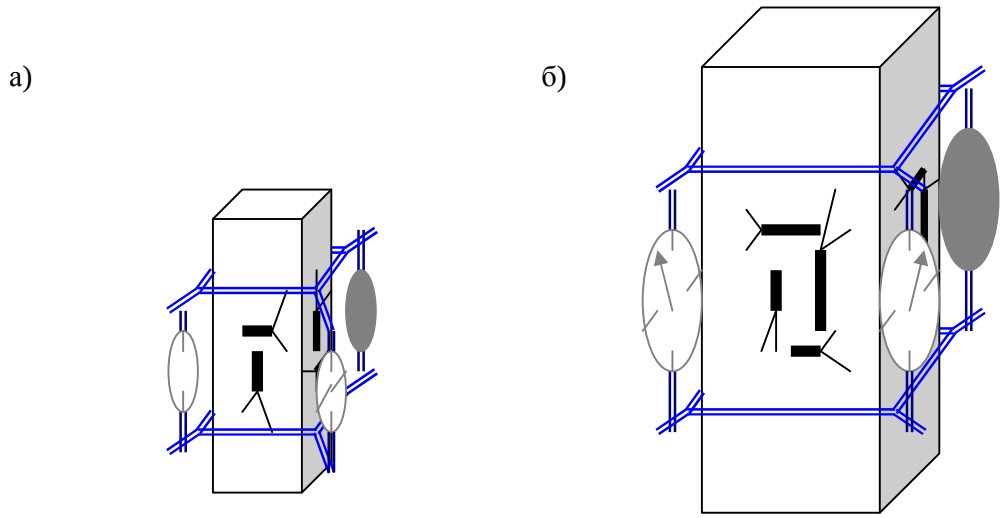


Рис. 3. Схема расположения на образцах мессур и наклейки тензодатчиков сопротивлений для измерения значения величин деформаций

Значение модуля деформации при нагружении образцов изменялось в пределах E_0 = 214 ÷ 497 МПа, коэффициент Пуассона γ_0 = 0.163 ÷ 0,385, а именно:

А) в образцах 1 группы при замерах деформации с помощи тензодатчиков сопротивлений с базой $\boldsymbol{l}$ = 10 мм E_0 = 306 ÷ 497 МПа и γ_0 = 0,163 ÷ 0,255;

Б) то же, замеренное мессурой с точностью $t = 10^{-3}$ мм E_0 = 214 ÷ 474 МПа;

В) в образцах II группы замеренные при помощи тензодатчиков сопротивлений с базой l = 10 мм E_0 = 306 ÷ 497 МПа и γ_0 = 0,334 ÷ 0,284;

Г) то же, с базой l = 20 мм E_0 = 259 ÷ 366 МПа и γ_0 = 0,163 ÷ 0.255;

Д) то же, замеренные мессурой - тысячником E_0 = 235 ÷ 447 МПа.

Определение применимости метода тензометрии для измерения деформации на образцах I группы (4х4х16 см)

Цикличность	Усилие P, H	Напряжение σ, кПа	Измеренный тензодатчиком сопротивлений l = 10мм					Измеренный мессурой с базой 60 мм				
			Номер образца					Номер образца				
			С-1-1	С-1-3	С-2-1	С-2-2	С-2-3	С-1-1	С-1-3	С-2-1	С-2-2	С-2-3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	62,5	18,0	13,6	19,8	6,8	18,8	14,4	9,0	15,5	4,2	15,8
	200	125	35,0	38,4	39,4	25,8	42,3	28,0	25,3	31,5	16,0	33,8
	300	188	54,9	63,1	62,9	49,3	64,1	43,9	41,0	50,3	30,0	51,3
	400	250	76,1	88,6	83,2	86,5	94,4	60,9	58,5	66,6	53,6	75,5
	500	313	96,0	116,3	110,1	-	121,6	76,3	76,7	88,5	-	97,2
	600	375	-	-	145,0	-	-	-	-	112,1	-	-
	500	313	-	-	126,1	-	-	-	-	100,9	-	-
	400	250	85,3	98,4	100,7	-	105,0	67,3	64,5	80,5	-	82,0
	300	188	56,3	75,4	80,5	65,7	81,5	53,6	49,9	64,4	40,8	65,2
	200	125	55,0	54,7	58,3	49,6	56,1	44,0	36,1	48,7	30,8	44,9
	100	62,5	29,2	27,9	32,2	31,4	34,7	23,4	18,4	25,8	19,5	28,3
	0	0	8,0	0,8	5,4	4,1	9,7	6,4	0,5	4,3	2,5	8,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	62,5	10,2	13,2	19,4	7,1	12,5	8,1	8,7	15,6	4,4	9,9
	200	125	28,2	40,3	44,0	26,7	32,6	22,6	26,6	35,2	16,5	26,0
	300	188	47,6	64,8	69,6	51,0	54,1	38,1	42,8	55,7	31,7	43,2
	400	250	68,7	86,4	95,6	87,2	85,1	55,0	57,0	76,8	54,1	68,1
	500	313	88,9	118,2	120,4	98,7	112,4	71,1	78,0	96,4	61,2	85,6
	550	375	-	-	-	115,7	-	-	-	-	71,7	-
	600	405	112,5	150,3	155,2	133,8	141,3	90,0	99,2	124,1	82,8	113,1
	650	437	-	-	-	155,4	-	-	-	-	93,4	-
	700	467	147,7	204,8	198,3	189,7	183,2	117,9	135,2	158,7	117,6	146,5
	750		-	-	233,0	-	211,7	-	-	186,3	-	169,4

При разгрузке были получены следующие значения E0 и γ_0:

А) в образцах I группы деформации образцов замеренные при помощи тензодатчиков сопротивлений с базой ***l*** = 10мм E_0 = 311.2 ÷ 424 МПа и γ_0 = 0.166 ÷ 0.270;

Б) то же, замеренные мессурой - тысячником E_0 = 261 ÷ 469 МПа;

В) в образцах 2 группы замеренные при помощи тензодатчиков сопративлений с базой ***l*** = 10 мм E_0 = 345 ÷ 471 МПа и γ_0 = 0,212 ÷ 0,30;

Г) то же, с базой ***l*** = 20 мм E_0 = 314 ÷ 352 МПа γ_0 = 0,184 ÷ 0,246;

Д) то же, замеренные мессурой - тысячников E_0 = 261 ÷ 496 МПа.

При сопоставлении полученные результатов опытов, т.е. соответствующих значений E_0 и γ_0, полученные при помощи тензодатчиков сопротивлений с базами ***l*** = 10 и 20 мм, а также в результате измерений с помощью мессур - тысячников, наблюдается пересечения в своей значительной части.

Это свидетельствует о том, что тензодатчики сопротивлений с базами ***l*** = 10 и 20 мм могут использываться для замера деформаций низкомодульного материала с относительно крупными включениями, такими, как пенополистирол.

Определение применимости метода тензометрии для измерения деформации на образцах II группы (7х7х22 см)

Таблица 2

Цикличность	Усилие P, кН	Напряжение σ, кПа	Вертикальные деформации e´x10^{-5}						Горизонтальные дефрормации e″x10^{-5}			
			Замеренные									
			мессуры *l* = 80 мм		Тензодатчики сопротивлений с базой *l*							
					20 мм		10 мм		20 мм		10 мм	
			С-1	С-2	С-1	С-2	С-1	С-2	С-1	С-2	С-1	С-2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,3	61,2	4,8	-	16,7	-	12,2	-	4,8	-	4,0	-
	0,35	71,4	-	10,2	-	19,5	-	17,0	-	4,8	-	4,8
	0,60	122	22,2	-	33,5	-	24,2	-	8,5	-	6,8	-
	0,70	143	-	26,5	-	41,0	-	38,0	-	9,3	-	9,5
	0,90	184	44,2	-	52,5	-	37,3	-	12,8	-	10,5	-
	1,05	214	-	56,6	-	64,3	-	57,5	-	14,0	-	14,8
	1,20	245	68,2	-	71,8	-	51,3	-	16,5	-	13,3	-
	1,40	286	-	83,0	-	86,8	-	77,5	-	18,3	-	19,8
	1,50	306	94,4	-	94,5	-	68,0	-	21,8	-	18,0	-
	1,75	357	-	114,9	-	116,3	-	100,8	-	23,8	-	25,0
	1,40	286	-	102,5	-	96,0	-	83,5	-	21,0	-	20,8
	1,20	245	85,6	-	77,5	-	56,0	-	18,0	-	14,5	-
	1,05	214	-	77,2	-	73,8	-	65,0	-	15,2	-	16,8
	0,90	184	69,7	-	59,0	-	41,5	-	14,5	-	11,2	-
	0,70	143	-	46,0	-	48,8	-	43,0	-	10,5	-	12,2
	0,60	122	45,5	-	41,0	-	28,8	-	10,8	-	7,2	-
	0,35	71,4	-	17,7	-	28,2	-	24,2	-	6,8	-	7,5
	0,30	61,2	19,8	-	21,8	-	15,2	-	5,5	-	4,2	-
	0	0	1,4	3,4	1,0	15,2	0	3,0	0,2	0	0,2	-1,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,3	61,2	3,9	-	17,5	12,0	12,0	-	4,0	-	4,0	-

	0,35	71,4	-	13,2	-	-	-	17,5	-	3,8	-	5,0
	0,60	122	18,7	-	35,2	24,8	24,8	-	8,2	-	6,8	-
	0,70	143	-	35,8	-	-	-	37,8	-	7,2	-	9,8
	0,90	184	42,5	-	53,2	37,8	37,8	-	12,8	-	9,8	-
	1,05	214	-	60,8	-	-	-	56,5	-	11,8	-	14,2
	1,20	245	66,1	-	71,5	51,8	51,8	-	16,2	-	13,2	-
	1,40	286	-	86,9								
	1,50	306	93,2	-								
	1,75	357	-	115,9								
	1,80	367	121	-								
	2,10	429	157,5	151,0								
	2,30	469	196,4	-								
	2,45	500	-	256,								
	2,50	510	230,0									
	2,60	531	-									
	2,70	551	Разрушение									

Могут использоваться для замера деформаций низкомодульного материала с относительно крупными включениями, такими, как гипсопенополистирол.

Выводы:

1. Тензодатчики сопротивления с базами $\boldsymbol{l} \geq 5d^3$ можно применять для замера деформаций низкомодульного материала такого как гипсопенополистирол.

2. При наклейке тензодатчиков сопротивлений на поверхность гипсопенополистироловых материалов нельзя производить грунтовку с большим содержанием ацетона в клеевом растворе – разөедаются пенополистироловые зерна расположенные на поверхности. Наклеивать клеем Т-192или БФ-2 нужно традиционным способом, только после обезжиривания поверхности гипсопенополистиролового материала техническим спиртом.

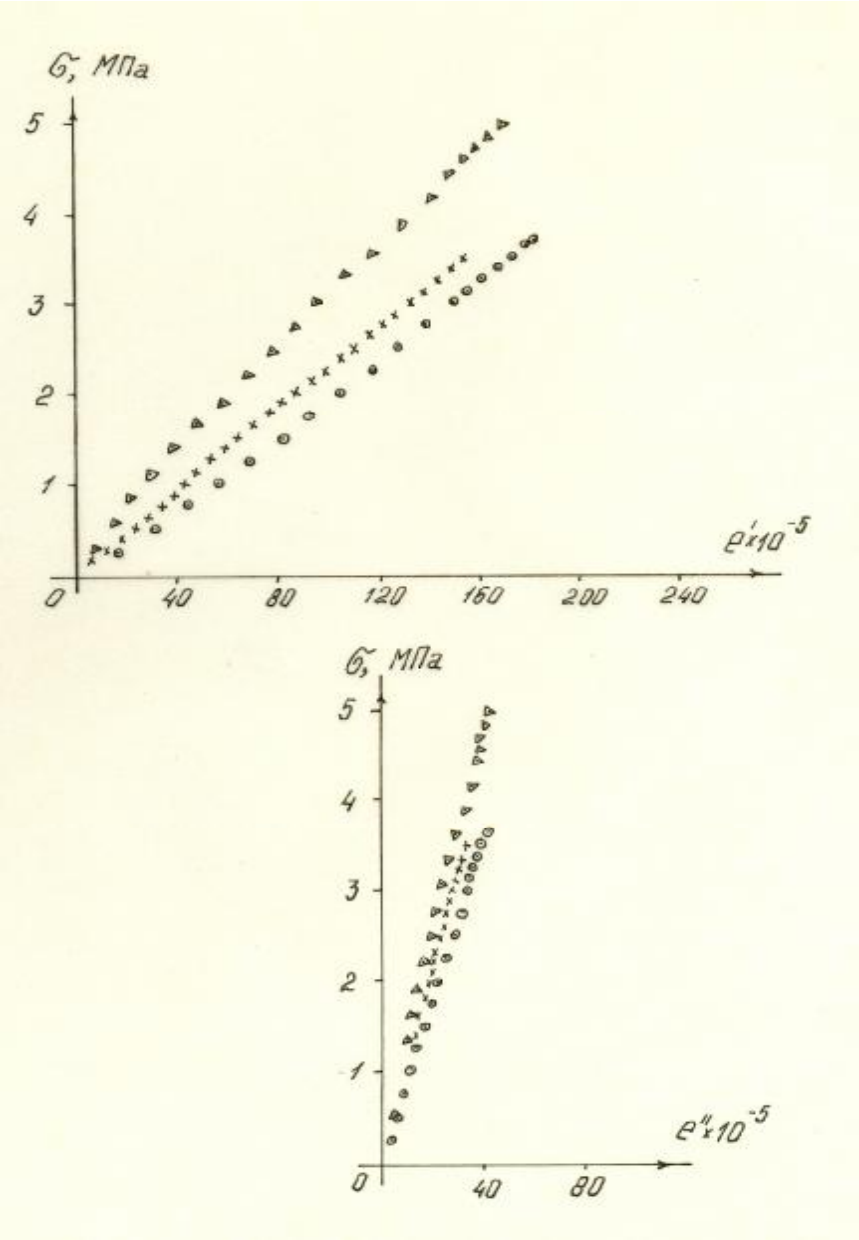


Рис. 4. График изменения продольных (а) и попереченых (б) деформаций образов от действующих напряжений б.

Литература:

1. Почтовик Г.Я., Злочевский А.Б.. Методы и средства испытания строительных конструкций. – М.: МИСИ, 1973. – 160 с.
2. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. Пол ред. Марков Р.М. – М.: «Машиностроение», 1975. – 288с.
3. Тезисы докладов Ухова С.Б., Сатыбаева А.Т. Выбор метода замера деформаций низкомодульного материала на Всесоюзном конференции по измерительной технике. – Чымкент, Химикотехнологический институт, 1986 г.